

П. П. В О Л К О В,
М. Б. ШТЕЙНФЕЛЬД,
С. А. П Е С Т О В

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОПИТАНИЮ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
М О С К В А • 1 9 6 2

П. П. ВОЛКОВ, М. Б. ШТЕЙНФЕЛЬД,
С. А. ПЕСТОВ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ И ЭЛЕКТРОПИТАНИЮ

Под редакцией ШТЕЙНФЕЛЬДА М. Б.

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1962

6П2.1
В67

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для курсантов военных училищ, а также для студентов техникумов, в которых изучают такие дисциплины, как электротехника, радиотехника и электропитание радиотехнических устройств.

В пособии описываются практические лабораторные работы по электротехнике и электропитанию, а также указываются цели, задачи и объем проводимых в этих областях исследований и испытаний.

Авторы стремились при описании практических работ увязать вопросы эксплуатации с основными теоретическими положениями, которые излагаются при чтении специальных предметов, и тем самым способствовать политехническому обучению.

Пособие состоит из двух частей:

Часть I. Практические работы по электротехнике.

Часть II. Практические работы по электропитанию.

Практические работы написаны: часть I — 4, 5 — инженер-полковником Волковым П. П.; 7, 11, 12, 14, 16 — инженер-полковником Волковым П. П., инженер-подполковником Штейнфельдом М. Б.; 8, 10, 13, 17, 18, 21, 22 — инженер-подполковником Штейнфельдом М. Б.; 1, 2, 3, 6, 9, 15, 19, 20, 23 — инженер-подполковником Пестовым С. А.

Часть II — 29 — инженер-полковником Волковым П. П.; 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 — инженер-подполковником Штейнфельдом М. Б.; 28 — инженер-подполковником Пестовым С. А.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Приступая к практической работе, необходимо ясно представлять себе ее цель и твердо знать порядок выполнения, для чего накануне следует прочитать соответствующие разделы настоящего пособия и учебника.

Кроме того, необходимо вычертить в тетради те схемы включения приборов, машин и аппаратов, которые будут собираться в лаборатории, а также подготовить таблицы для записи наблюдений и вычислений.

Выполнение лабораторных работ следует начинать со сборки схемы. Перед сборкой схемы необходимо ознакомиться с техническими характеристиками приборов и определить цену деления шкалы каждого из них. В первую очередь собирают основной контур (последовательную цепь тока), включая в него амперметры и другие приборы, указанные в схеме. Во вторую очередь включаются вспомогательные цепи.

Проверить самостоятельно соответствие монтажной схемы указанной в работе до включения ее под напряжение.

Быть готовым объяснить преподавателю собранную схему. Включать схему под напряжение только после проверки ее преподавателем. По окончании работы предъявить полученные результаты преподавателю, а схему — лаборанту и получить их разрешение на разборку схемы. В отчет по выполненной работе, предъявляемый преподавателю перед началом следующей работы, должны входить:

1. Перечень измерительных приборов, машин и аппаратов с их техническими характеристиками (система прибора, цена деления шкалы прибора, номинальные нагрузки, на которые рассчитан тот или иной прибор, машина, аппарат).
2. Схема работы.
3. Таблица наблюдений и вычислений.
4. Графики и необходимые расчеты.
5. Оценка полученных результатов с точки зрения про-

верки теоретических положений, излагаемых в курсах электротехники и электропитания, и краткие выводы.

Схемы должны быть выполнены в стандартных обозначениях, а графики построены в масштабе. Отчет по практической работе должен быть выполнен по следующей форме.

Учебное заведение

Лаборатория

Учебная группа

Фамилия, имя, отчество

« » . . . 196 г.

Отчет по практической работе
(наименование работы)

Технические характеристики приборов, машин, аппаратов и порядок выполняемой работы:

1.

2.

3.

Схемы, таблицы, графики

Результаты измерений и вычислений

Оценка полученных результатов и выводы

Работу выполнил

« » 196 г.

.
(подпись исполнителя)

Некоторые особенности при работе с электрическими машинами, силовыми агрегатами и двигателями внутреннего сгорания

Прежде чем приступить к сборке схемы электродвигателя, необходимо выяснить, какие зажимы машины и реостатов соответствуют отдельным точкам электрической сети, указанной в описании лабораторных работ. Для экономии времени и избежания возможных ошибок необходимо собирать схему в определенной последовательности: в первую очередь цепь основного тока (цепь якоря), а затем вспомогательные цепи (цепь возбуждения, параллельные цепи).

После того как будет установлено, что схема собрана правильно, производится пробный пуск. Перед пуском необходимо убедиться в правильном положении рукояток пу-

сковых и регулировочных реостатов (пусковые реостаты должны быть введены, а регулировочные выведены). Следует иметь в виду, что в машинах малой мощности (до 1—2 квт) пусковые реостаты могут отсутствовать.

Перед тем как осуществить запуск машины, нужно проверить техническое состояние щеток, нажимных пружин и коллектора. Щетки должны быть без отколотых краев, хорошо притерты к поверхности коллектора, легко ходить в щеткодержателях, а нажимные пружины должны создавать надежное контактирование щеток с пластинами коллектора. Коллектор должен быть чистым, без следов подгорания и иметь характерный блеск полированного металла. О всех замеченных неисправностях нужно немедленно доложить преподавателю.

Запуск машины осуществляется включением рубильников и плавным поворотом пусковых рукояток. Остановка производится в обратной последовательности, т. е. вначале вводится пусковой реостат, а затем выключается рубильник.

В момент включения схемы под напряжение необходимо наблюдать за показаниями электрических измерительных приборов. Если будет установлено, что стрелка прибора отклоняется в другую сторону или за пределы шкалы, следует выключить схему, найти и устранить неисправность.

Если при запуске будет замечено ненормальное поведение машины (отсутствие вращения машины, чрезмерно высокая скорость вращения или ее нагрев), необходимо схему выключить, а о замеченном сообщить преподавателю.

Подготовку, пуск и остановку силовых агрегатов, в том числе и передвижной зарядной станции, а также контроль за их работой следует производить согласно инструкциям завода-изготовителя.

При работе с электрическими машинами нужно уделять особое внимание **надежному заземлению** испытуемых агрегатов.

Во время испытания двигателя внутреннего сгорания следует внимательно прислушиваться к его работе и при возникновении металлических стуков двигатель немедленно остановить. О его неисправности сообщить преподавателю.

Силовые агрегаты, передвижные зарядные станции, электрические машины и двигатели внутреннего сгорания нужно сдавать лаборанту в рабочем состоянии,

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Для того чтобы человек, работающий с электрическими установками и их элементами (распределительные щиты, собранные монтажные схемы, электрические машины, силовые агрегаты, кабели, осветительная и силовая сети, трансформаторы и т. п.), не попал **под напряжение**, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Следует помнить, что при некоторых условиях (влажные руки, контакт с проводами при поврежденной коже, плохой изоляции и т. д.) даже напряжение $U=50$ в может быть опасным для жизни человека. Поэтому при проведении практических работ в лаборатории электротехники, специальных классах и на испытательных полигонах **запрещается**:

1. Работать с электрическими машинами, силовыми агрегатами, передвижными электростанциями **без надежного заземления**.

2. Прикасаться к токоведущим частям машин, аппаратов, приборов и распределительных щитков, а также к проводам, лишенным изоляции.

3. Проверять с помощью пальцев, есть ли напряжение в сети.

4. Включать собранную схему под напряжение без разрешения преподавателя и без предупреждения об этом всех работающих на данной установке.

5. Производить изменения в схеме, находящейся под напряжением.

6. Разбирать схему, если она не отключена от сети.

7. Прикасаться к вращающимся частям машины, а также щеткам и щеткодержателям. Размыкать во время работы цепи возбуждения машин постоянного тока.

8. Класть карандаши, линейки, ручки и другие предметы

на реостаты, измерительные приборы и другую аппаратуру.

9. Допускать образование петель и перекручивания проводов и кабелей, неизолированных соединений, висячих скруток.

10. Располагать легко воспламеняющиеся материалы близко от выхлопной трубы двигателя внутреннего сгорания.

11. Близко подносить огонь и курить при заливке топлива и масла в двигатель внутреннего сгорания. В случае воспламенения топлива или масла пламя следует засыпать землей, песком или прикрыть его брезентом или войлоком. Категорически запрещается заливать пламя водой.

При поражении электрическим током нужно немедленно освободить пострадавшего от воздействия напряжения источника тока, для чего необходимо обесточить те части, которых касается пострадавший.

Прикосновение к человеку, находящемуся под напряжением, опасно.

Освобождать пострадавшего от приложенного к нему напряжения можно только сухими деревянными предметами и другими непроводниками.

Если после освобождения от соприкосновения с токоведущими частями пострадавший не дышит или дышит судорожно, нужно привести его в сознание, для чего:

1. Снять с пострадавшего все стесняющие его части одежды, расстегнуть ворот, пояс и т. д.

2. Очистить рот пострадавшего от крови, слизи, если последние имеются.

3. Обеспечить доступ чистого воздуха к пострадавшему.

4. Делать пострадавшему искусственное дыхание и вызывать врача.

ЧАСТЬ I

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

СБОРКА ПРОСТЕЙШЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Закон Ома

Цель. Получить практические навыки в сборке простейших электрических цепей и опытным путем убедиться в достоверности закона Ома для участка цепи.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U=12$ в | 1 |
| 2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—5 а | 1 |
| 3. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—30 в | 1 |
| 4. Реостат ($R=24$ ом; $I=3$ а) | 1 |
| 5. Магазин сопротивлений ($R=2, 6, 8, 12, 16, 20, 24$ ом; $I=2$ а) | 1 |

Электрической цепью называется замкнутый путь, по которому протекает электрический ток. Любая электрическая цепь состоит из источника электрической энергии (генератор, аккумулятор, гальванический элемент), потребителей электрической энергии, соединительных проводов, вспомогательной аппаратуры (приборы управления, защиты и т. д.) и контрольно-измерительных приборов. Схема простейшей электрической цепи приведена на рис. 1.

Электрическая цепь состоит из двух частей: внешней и внутренней. Все, что подключено к зажимам источника электрической энергии (потребители, измерительные приборы, приборы управления и защиты, соединительные провода), относится к внешней части цепи; источник электрической энергии относится к внутренней части цепи.

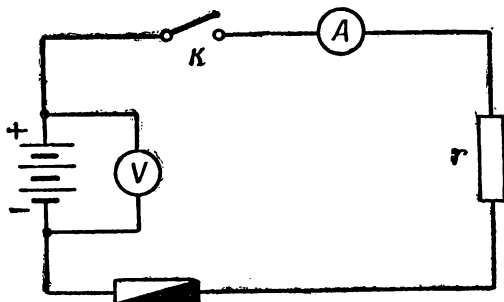


Рис. 1. Схема простейшей электрической цепи

ЭДС и напряжение на зажимах источника электрической энергии измеряются при помощи вольтметра, подключенного к его зажимам. Измерение величины тока осуществляется при помощи амперметра, который включается в цепь последовательно (в разрыв цепи). При включении амперметра необходимо соблюдать правило полярности: плюс прибора должен быть подключен со стороны плюса источника электрической энергии, минус прибора — со стороны минуса. В противном случае произвести измерения невозможно. Перед тем как производить измерения, необходимо определить цену деления шкалы прибора. Ценой деления шкалы прибора называется число электрических единиц (вольт, ампер, ом и т. д.), приходящихся на одно деление шкалы прибора.

Если N — предел измерения прибора;

n — число делений на шкале прибора;

α — цена деления, то

$$\alpha = \frac{N}{n} \frac{\text{эл. ед.}}{\text{дел.}}, \quad (1.1)$$

и тогда, если при измерениях стрелка прибора отклонилась на n_1 делений, то значение измеряемой величины A будет

$$A = \alpha n_1 \text{ (эл. ед.)}. \quad (1.2)$$

При сборке электрической цепи необходимо соблюдать порядок, рекомендованный в общих указаниях настоящего описания.

Величина тока в цепи зависит от величины ЭДС источника электрической энергии и сопротивления всей цепи. Эта зависимость определяется по закону Ома: величина тока I в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе E источника электрической энергии и обратно пропорциональна сопротивлению R всей цепи:

$$I = \frac{E}{R}; \quad (1.3)$$

$$R = r_0 + r, \quad (1.4)$$

где R — сопротивление всей цепи;

r_0 — сопротивление внутренней части цепи;

r — сопротивление внешней части цепи.

Применительно к любому участку цепи закон Ома формулируется следующим образом: величина тока I на участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению r этого участка

$$I = \frac{U}{r}. \quad (1.5)$$

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 2.
2. Определить цену шкалы амперметра α_A и вольтметра α_V .
3. При постоянном сопротивлении 8 ом установить три

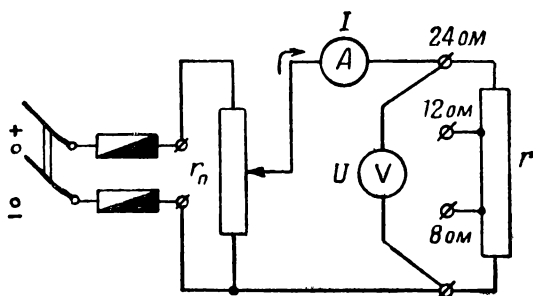


Рис. 2. Схема исследуемой цепи

различных значения напряжения (4, 8 и 12 в) и при этих значениях снять показания амперметра. Результаты показаний приборов занести в табл. 1.

Таблица 1

$r, \text{ ом}$	$U, \text{ в}$	$I, \text{ а}$	$I = \frac{U}{r}$
8	4		
8	8		
8	12		

4. При постоянном напряжении 8 в (поддерживать напряжение при помощи ползунка потенциометра) измерить величину тока при трех значениях сопротивления (8, 12 и 24 ом). Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

$U, \text{ в}$	$r, \text{ ом}$	$I, \text{ а}$	$I = \frac{U}{r}$
8	8		
8	12		
8	24		

5. Используя формулу закона Ома для участка цепи, по известным значениям напряжения и сопротивления подсчитать величину тока для всех шести измерений и результаты расчета занести в табл. 1 и 2.

6. Сравнивая расчетные данные с показаниями амперметра по табл. 1 и 2, сделать вывод о справедливости закона Ома для участка цепи. Указанный вывод и формулировку закона Ома для участка цепи отразить в отчете.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗАЖИМАХ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ НАГРУЗКИ

Цель. Исследовать, как изменяется напряжение на зажимах источника электрической энергии при увеличении и уменьшении тока нагрузки.

Материальное обеспечение:

1. Батарея анодная напряжением 100 в, номинальный ток 25—35 ма 1
2. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—100 ма 1
3. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—150 в 1
4. Реостат ($R=3000—20\,000\text{ ом}$, $I=0,1\text{ а}$) 2

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 3. Когда электрическая цепь замкнута, напряжение на зажимах источника электрической энергии U равно электродвижущей силе минус падение напряжения U_0 внутри источника электрической энергии.

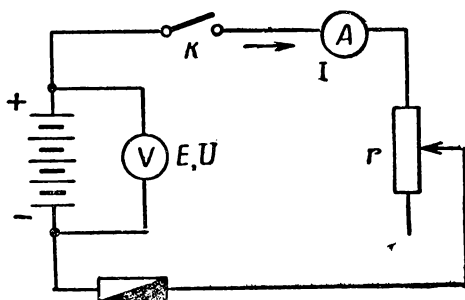


Рис. 3. Схема исследуемой цепи

Так как внутреннее падение напряжения U_0 по закону Ома для участка цепи равно $U_0 = Ir_0$, то

$$U = E - Ir_0. \quad (2.1)$$

Из формулы следует, что при увеличении тока нагрузки I внутреннее падение напряжения U_0 также увеличивается, а следовательно, напряжение U на зажимах источника электрической энергии уменьшается и, наоборот, при уменьшении тока нагрузки внутреннее падение напряжения уменьшается, а напряжение на зажимах источника электрической энергии увеличивается.

Рассмотрим два предельных режима цепи.

1. Цепь разомкнута:

$$I = 0, U_0 = Ir_0 = 0 \text{ и } U_{x.x} = E. \quad (2.2)$$

Такой режим называется холостым ходом.

2. Цепь замкнута, реостат полностью выведен. Сопротивление внешней цепи $r \approx 0$, тогда величина тока

$$I_{к.з} = \frac{E}{r_0}$$

максимальная, а напряжение на зажимах источника электрической энергии равно нулю

$$U = Ir \cong I \cdot 0 \cong 0. \quad (2.3)$$

Такой режим называется коротким замыканием, а ток $I_{к.з}$ — током короткого замыкания. Этот режим опасен, так как ток $I_{к.з}$ может быть очень большим, что может привести к выходу из строя источника электрической энергии, соединительных проводов, измерительных приборов.

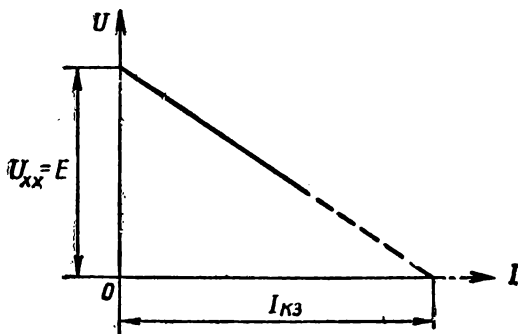


Рис. 4. Изменения напряжения на зажимах источника электрической энергии U при изменении тока I в цепи

Из рассмотренного анализа зависимость $U = f(I)$ можно выразить графически (рис. 4), причем эта зависимость прямолинейная, так как уравнение (2.1) является уравнением прямой (если считать, что E и r_0 источника электрической энергии — величины постоянные).

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 3.
2. Измерить электродвижущую силу E источника электрической энергии.

Результаты всех измерений занести в табл. 1. По данным таблицы построить график зависимости $U=f(I)$. Доведя прямую $U=f(I)$ до пересечения с осью тока I , определить значение тока короткого замыкания $I_{к.з.}$

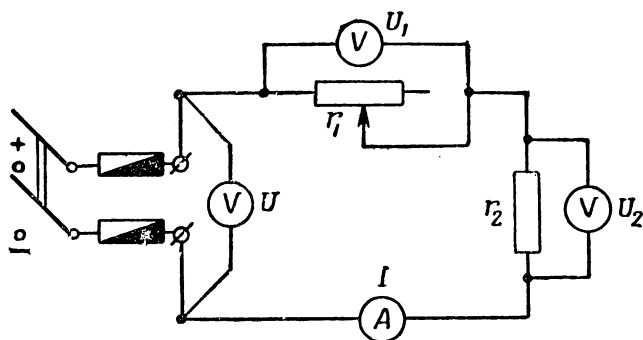


Рис. 5. Схема исследуемой цепи

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 5. Основные свойства цепи с последовательным соединением сопротивлений следующие:

1. Токи на всех участках цепи одинаковы:

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n. \quad (3.1)$$

2. Эквивалентное сопротивление $r_{\text{эк}}$ последовательно соединенных потребителей равно сумме сопротивлений каждого потребителя в отдельности:

$$r_{\text{эк}} = r_1 + r_2 + \dots + r_n. \quad (3.2)$$

3. Общее напряжение U , действующее на последовательно соединенных потребителях, равно сумме падений напряжений на каждом потребителе в отдельности:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (3.3)$$

4. Напряжения между последовательно соединенными потребителями распределяются прямо пропорционально их сопротивлениям:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{r_1}{r_2}. \quad (3.4)$$

Рассмотрим, как изменяется режим работы цепи при изменении сопротивления одного из ее участков при постоянстве приложенного к цепи напряжения (пренебрегаем падением напряжения на r_0 , считая, что для мощных источников электрической энергии r_0 весьма мало),

При уменьшении r_1 эквивалентное сопротивление $r_{1,2} = r_1 + r_2$ также уменьшается, величина тока в цепи $I = \frac{U}{r_{1,2}}$ увеличивается, падение напряжения на r_2 увеличивается: $U_2 = Ir_2$, а падение напряжения на r_1 уменьшается:

$$U_1 = U - U_2. \quad (3.5)$$

Если принять $r_1 = 0$, то при постоянном значении r_2 ток в цепи I будет иметь максимальное значение

$$I = \frac{U}{r_2}.$$

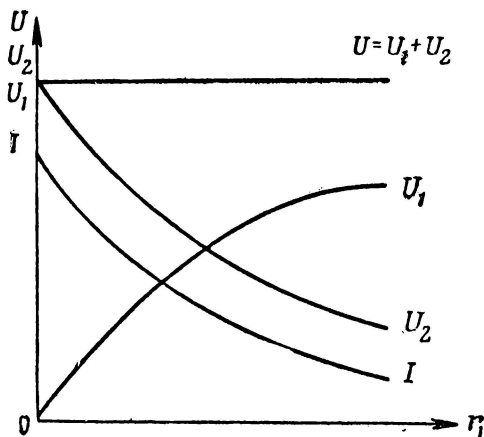
Следовательно, $U_1 = Ir_1 = 0$, так как $r_1 = 0$, а

$$U_2 = Ir_2 = \frac{U}{r_2} \cdot r_2 = U;$$

$$U_2 = U. \quad (3.6)$$

Падение напряжения U_2 на r_2 равно напряжению U , приложенному к зажимам цепи.

При этом нужно иметь в виду, что при любых изменениях r_1 и r_2 пере-



распределение падений напряжений на этих сопротивлениях будет таким, что сумма U_1 и U_2 будет всегда равна напряжению U , приложенному к зажимам цепи: $U = Ir_{1,2}$, но $r_{1,2} = r_1 + r_2$, тогда

$$U = I(r_1 + r_2) = Ir_1 + Ir_2$$

или

$$U = U_1 + U_2. \quad (3.7)$$

Рис. 6. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения напряжения на зажимах источника электрической энергии U , напряжений U_1 , U_2 , тока I в цепи при изменении сопротивления r_1

Рассмотренные свойства цепи иллюстрируются графиками, изображенными на рис. 6.

Порядок выполнения работы

1. С помощью моста или омметра измерить r_2 , результаты измерения занести в табл. 1 (измерение производится под руководством преподавателя).

2. Собрать электрическую цепь согласно схеме на рис. 5.

3. Изменяя сопротивление реостата от нуля до максимума, произвести измерение величин тока I в цепи, напряжения U , приложенного к зажимам цепи, и падений напряжений на сопротивлениях r_1 и r_2 .

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Наблюдения				Вычисления					Примечание
$U, \text{ в}$	$I, \text{ а}$	$U_1, \text{ в}$	$U_2, \text{ в}$	$r_{1,2}, \text{ ом}$	$r_1, \text{ ом}$	$\frac{r_1}{r_2}$	$\frac{U_1}{U_2}$	$U=U_1+U_2$	

4. Пользуясь результатами измерений, вычислить величины: $r_{1,2}$, r_1 , $\frac{r_1}{r_2}$, $\frac{U_1}{U_2}$, $U=U_1+U_2$.

Результаты вычислений занести в табл. 1.

5. По результатам измерений и вычислений построить графики зависимостей: $I=f(r_1)$; $U_1=f(r_1)$; $U_2=f(r_1)$. Для равномерного распределения точек по оси абсцисс ползунков реостата r_1 перемещать на равные промежутки

(рис. 7). Например: $r_1=0$; $r_1=\frac{r_{\text{макс}}}{4}$; $r_1=\frac{r_{\text{макс}}}{2}$; $r_1=\frac{r_{\text{макс}}}{4}$; $r_1=\frac{3r_{\text{макс}}}{4}$; $r_1=r_{\text{макс}}$.

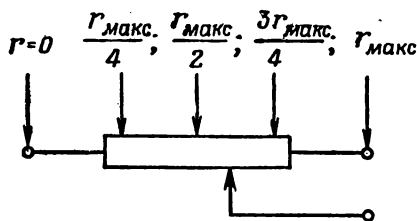


Рис. 7. Положения ползунка реостата при заданных значениях r_1

6. На основании опытных данных в отчете по практической работе сделать выводы:

а) как изменяются I ; U_1 ; U_2 при изменении сопротивления r_1 ;

б) как распределяется напряжение по участкам

цепи при последовательном соединении потребителей;

в) возможно ли практическое применение последовательного соединения потребителей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Цель. Получить практические навыки в сборке электрических схем и исследовать условия работы цепи при параллельном соединении потребителей.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U=12$ в 1
2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0-1$ а 1
3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0-5$ а 1
4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения $0-30$ в 1
5. Реостат ($R=24$ ом, $I=3$ а) 1
6. Магазин сопротивлений ($R=2, 6, 8, 12, 24$ ом; $I=2$ а) 1

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 8. В отличие от последовательной цепи в параллельной цепи электрический ток распределяется по нескольким направлениям.

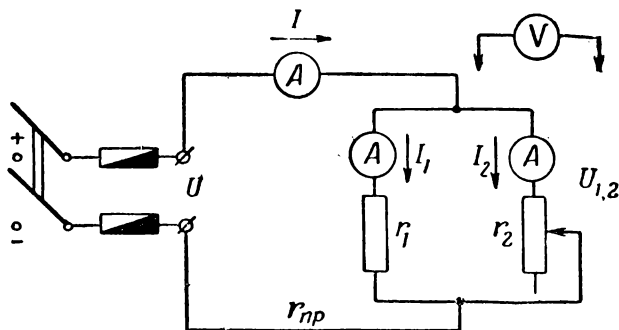


Рис. 8. Схема исследуемой цепи с параллельным соединением сопротивлений r_1 и r_2

Точки цепи, к которым присоединены своими концами сопротивления r_1 и r_2 , называются узловыми точками схемы, а провода, соединяющие источник электрической энергии с ними,—подводящими проводами, которые обладают сопротивлением $r_{\text{пр}}$ (рис. 8).

Если по техническим условиям можно пренебречь $r_{\text{пр}}$, т. е. считать $r_{\text{пр}} \approx 0$, то напряжения U_1 и U_2 на параллельно включенных сопротивлениях r_1 и r_2 будут не только равны друг другу, но и равны напряжению U на зажимах источника электрической энергии:

$$U_{1,2} = U_1 = U_2 = U.$$

Если же значением $r_{\text{пр}}$ пренебречь нельзя, то напряжение $U_{1,2}$ будет меньше, чем на зажимах источника электрической энергии, на величину падения напряжения $I r_{\text{пр}}$ в проводах:

$$U_{1,2} = U_1 = U_2 = U - I r_{\text{пр}}. \quad (4.1)$$

Токи в параллельных ветвях распределяются обратно пропорционально величинам их сопротивлений:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}. \quad (4.2)$$

Эквивалентное сопротивление $r_{\text{экв}}$ параллельно соединенных потребителей обычно определяется по формуле

$$\frac{1}{r_{\text{экв}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}, \quad (4.3)$$

т. е. эквивалентное сопротивление $r_{\text{экв}}$ при параллельном соединении нескольких потребителей всегда будет меньше наименьшего из сопротивлений, имеющегося в данном соединении.

Кратко рассмотрев некоторые свойства цепи параллельного соединения потребителей, выясним, влияет ли изменение электрического режима в одной из параллельных ветвей r_2 на работу второй параллельной ветви r_1 при постоянстве приложенного к зажимам цепи напряжения U и отсутствии сопротивления $r_{\text{пр}}$ в соединительных проводах ($r_{\text{пр}} \approx 0$).

При уменьшении r_2 эквивалентное сопротивление цепи $r_{1,2}$ также уменьшается, что приводит к увеличению тока $I = \frac{U}{r_{1,2}}$, но при этом напряжение на параллельном участке $U_{1,2}$ остается неизменным:

$$U_{1,2} = U = \text{const},$$

так как

$$U_{\text{пр}} = I r_{\text{пр}} \approx 0.$$

А так как режим работы в ветви с сопротивлением $r_1 = \text{const}$ зависит только от величины напряжения $U_{1,2}$, то ясно, что ток

$$I_1 = \frac{U_{1,2}}{r_1} = \frac{U}{r} = \text{const},$$

т. е. остается неизменным при всех значениях r_2 или при всех значениях I_2 .

Следовательно, при отсутствии сопротивления в соединительных проводах параллельно включенные потребители r_1 и r_2 работают независимо друг от друга.

Это положение подтверждается графиками, изображенными на рис. 9.

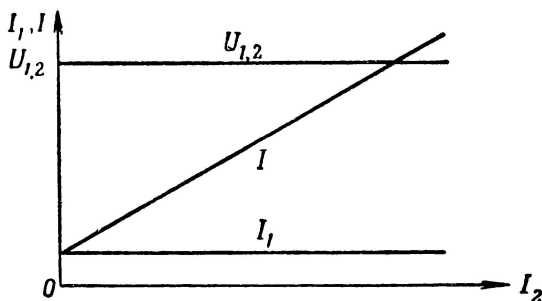


Рис. 9. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения напряжения $U_{1,2}$, токов I и I_1 при изменении тока I_2

Рассмотрим два предельных режима работы цепи, изображенной на рис. 8.

1. Обрыв сопротивления r_2 . В этом случае $r_2 = \infty$ и $I_2 = 0$. Кроме того, $I = I_1 = \frac{U}{r_1}$ и $U_{1,2} = U$.

2. Короткое замыкание ветви с сопротивлением r_2 . При $r_2 = 0$ ток $I_2 = \frac{U}{r_2}$ может достигнуть величины, которая может оказаться опасной для приборов и других элементов, составляющих цепь.

Поэтому его величина в опыте не должна превышать номинального тока амперметра, включенного в неразветвленную часть схемы, и уменьшать сопротивление r_2 до полного короткого замыкания недопустимо.

При исследовании параллельной схемы соединения потребителей следует также убедиться в справедливости первого закона Кирхгофа, так как для каждого значения тока I_2 в исследуемой схеме должно быть выполнено соотношение

$$I = I_1 + I_2. \quad (4.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Измерить сопротивление r_1 с помощью моста или омметра, результат измерения занести в табл. 1 (измерение проводится под руководством преподавателя).

2. Собрать схему рис. 8 и, изменяя реостатом r_2 ток I_2 от $I_2=0$ до некоторого максимального значения $I_{2\text{макс}}$, заданного руководителем работы, измерить токи I ; I_1 ; I_2 и напряжения $U_{1,2}$, U . Снять пять точек. Для равномерного распределения точек на кривых после сборки схемы и включения ее на напряжение изменить ток I_2 от нуля до полного допустимого значения и полученный диапазон изменения тока I_2 разделить на четыре приблизительно равные части через интервал $\frac{I_2}{4}$, т. е. получить для построения графиков 5 точек.

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Наблюдения					Вычисления					Примечание
	$U, \text{ в}$	$U_{1,2}, \text{ в}$	$I, \text{ а}$	$I_1, \text{ а}$	$I_2, \text{ а}$	$r_2, \text{ Ом}$	$I_1 = \frac{U_{1,2}}{r_1}$	$I = I_1 + I_2$	$U_{1,2} = I r_{1,2}$	$r_{1,2}, \text{ Ом}$	

3. Пользуясь данными опыта, вычислить величины: $U_{1,2}$; I_1 ; I ; $r_{1,2}$; r_2 — и по данным наблюдения построить графики зависимостей:

$$I = f(I_2); \quad I_1 = f(I_2); \quad U_{1,2} = f(I_2).$$

4. В отчете по практической работе сделать вывод, влияет ли изменение сопротивления r_2 на работу другой параллельной ветви, если сопротивление соединительных

проводов $r_{пр} \cong 0$, объяснить физический смысл полученных графиков и перечислить основные свойства цепи с параллельным соединением потребителей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СО СМЕШАННЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Цель. Получить практические навыки в сборке электрических цепей и исследовать условия работы потребителей при смешанном соединении их.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U=24$ в | 1 |
| 2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0-1$ а | 2 |
| 3. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения $0-30$ в | 1 |
| 4. Магазин сопротивлений ($R=2, 6, 8, 20, 24$ ом, $I=2$ а) | 1 |
| 5. Реостат ($R=24$ ом, $I=3$ а) | 1 |
| 6. Переключатель однополюсный на два положения | 1 |

Электрическая цепь, в которой имеет место как параллельное, так и последовательное соединение потребителей, называется цепью со смешанным соединением потребителей. При расчете или анализе рабочих свойств такие цепи разбивают на ряд участков, на которых имеет место или только последовательное, или только параллельное соединение. Применяя для каждого участка формулы, описывающие свойства того или иного вида (последовательного или параллельного) соединения потребителей, определяют характер распределения напряжений и токов по участкам и ветвям цепи.

Схема исследуемой цепи приведена на рис. 10. Эквивалентное сопротивление $r_{1,2,3}$ такой цепи равно сумме сопротивлений r_1 и $r_{2,3}$:

$$r_{1,2,3} = r_1 + r_{2,3}; \quad (5.1)$$

$$r_{2,3} = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_2 + r_3}, \quad (5.2)$$

где $r_{2,3}$ — эквивалентное сопротивление участка с параллельным соединением сопротивлений.

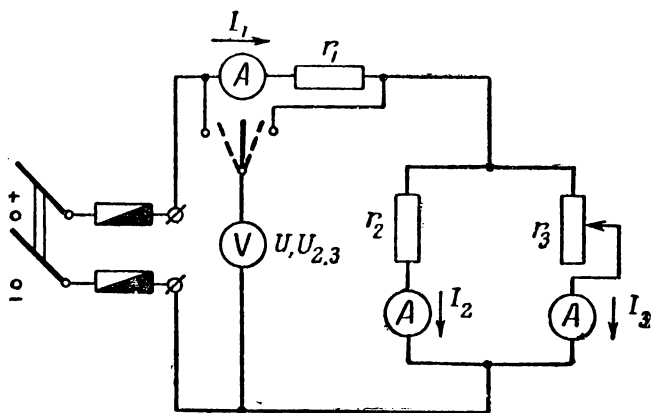


Рис. 10. Схема исследуемой цепи со смешанным соединением сопротивлений r_1 , r_2 и r_3

Ток в неразветвленных участках цепи

$$I_1 = \frac{U}{r_{1,2,3}}. \quad (5.3)$$

Падение напряжения на сопротивлении r_1

$$U_1 = I_1 r_1. \quad (5.4)$$

Падение напряжений на сопротивлении $r_{2,3}$

$$U_{2,3} = U - U_1 \quad (5.5)$$

или

$$U_{2,3} = U - I_1 r_1. \quad (5.6)$$

Токи в параллельных ветвях (сопротивлениях r_2 и r_3)

$$I_2 = \frac{U_{2,3}}{r_2}; \quad (5.7)$$

$$I_3 = \frac{U_{2,3}}{r_3}. \quad (5.8)$$

Считая, что напряжение источника U , сопротивления r_1 и r_2 постоянны, а величина сопротивления r_3 может изменяться от нуля до бесконечности, рассмотрим, как влияет изменение сопротивления r_3 на величины $U_{2,3}$, I_1 и I_2 .

При уменьшении сопротивления r_3 эквивалентное сопротивление цепи $r_{1,2,3}$ также уменьшается, что приводит

к увеличению тока I_1 , а следовательно, к увеличению падения напряжения U_1 и уменьшению падения напряжения $U_{2,3}$ (5.5).

Так как режим работы ветви с сопротивлением $r_2 = \text{const}$ зависит только от величины напряжения $U_{2,3}$, то ясно, что ток I_2 согласно уравнению (5.7) также уменьшается, причем это уменьшение будет тем больше, чем больше сопротивление r_1 . Если увеличивать сопротивление r_3 , то все изменения в цепи будут протекать в обратном направлении.

Следовательно, при наличии сопротивления r_1 , включенного последовательно с группой сопротивлений r_2 и r_3 , работа последних зависит друг от друга и тем больше, чем больше величина сопротивления r_1 .

Рассмотренная схема аналогична всякой линии, питающей группу параллельно включенных потребителей в тех случаях, когда сопротивлением r_1 проводов в этой линии пренебречь нельзя.

Интересны два предельных режима работы цепи, изображенной на рис. 10.

1. Обрыв ветви с сопротивлением r_3 .

В этом случае $r_3 = \infty$, тогда

$$I_3 = 0; \quad (5.9)$$

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{r_1 + r_2}; \quad (5.10)$$

$$U_{2,3} = U - I_1 r_1. \quad (5.11)$$

2. Короткое замыкание ветви с сопротивлением r_3 . Практически можно считать, что $r_3 = 0$. Но так как r_2 зашунтировано сопротивлением r_3 , то ток I_3 будет, очевидно, равен I_1 :

$$I_3 = I_1 = \frac{U}{r_1}. \quad (5.12)$$

Ток I_2 в ветви с сопротивлением r_2 будет равен нулю вследствие того, что падение напряжения $U_{2,3}$ на r_3 , а следовательно, и на r_2 равно нулю:

$$U_{2,3} = I_3 r_3 = I_3 \cdot 0 = 0; \quad (5.13)$$

$$I_2 = \frac{U_{2,3}}{r_2} = \frac{0}{r_2} = 0. \quad (5.14)$$

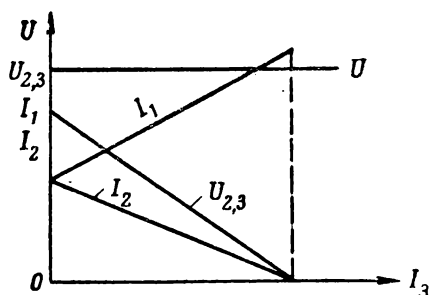


Рис. 11. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения напряжений U , $U_{2,3}$ и токов I_1 , I_2 при изменении тока I_3

Данные предельные случаи режима работы цепи, а также промежуточные между ними данные показаны в виде графиков на рис. 11.

Графики представляют собой прямые линии, что является характерным для всех линейных цепей, т. е. таких цепей, сопротивления которых не зависят от величины тока и напряжения.

Все приведенные графики, если они построены по данным физических измерений, подтверждают теоретические выводы, рассмотренные выше.

Порядок выполнения работы

1. Измерить сопротивление r_1 и r_2 с помощью моста или омметра; результаты измерений занести в табл. 1.

2. Собрать схему рис. 10 и, изменяя величину сопротивления r_3 в пределах, указанных преподавателем, измерить токи I_1 , I_2 , I_3 , напряжения $U_{2,3}$ и U . Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Наблюдения					Вычисления					Примечание
	$U, \text{ в}$	$U_{2,3}, \text{ в}$	$I_1, \text{ а}$	$I_2, \text{ а}$	$I_3, \text{ а}$	$r_3, \text{ ом}$	$r_{1,2,3}, \text{ ом}$	$I_2, \text{ а}$	$I_1, \text{ а}$	$U, \text{ в}$	
1											$r_1 =$
2											
3											
4											$I_1 = \frac{U - U_{2,3}}{r_1}$
5											$U = I_1 r_{1,2,3}$

3. Для равномерного распределения точек на кривых после сборки схемы и включения ее на напряжение изменить ток I_3 от нуля до полного допустимого значения и полученный диапазон изменения тока I_3 разделить на четыре приблизительно равные части через интервал $\frac{I_3}{4}$.

4. Пользуясь данными табл. 1, вычислить сопротивления r_3 и $r_{1,2,3}$, токи I_2 и I_1 , напряжение $U = I_1 r_{1,2,3}$ и занести значения сопротивлений, токов и напряжения в табл. 1.

Построить по данным наблюдений графики зависимостей:

$$I_2 = f(I_3); \quad I_1 = f(I_3); \quad U_{2,3} = f(I_3).$$

В отчете по практической работе сделать вывод, как влияет наличие сопротивления r_1 на режим работы параллельных ветвей схемы, а также объяснить физический смысл полученных графиков.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОТЕНЦИОМЕТРА

Цель. Получить практические навыки в сборке цепей с потенциометром и опытным путем исследовать свойства потенциометра.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Источник электрической энергии постоянного тока $U=24$ в | 1 |
| 2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—3 а | 1 |
| 3. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—500 ма | 1 |
| 4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—30 в | 1 |
| 5. Реостат ($R=24$ ом, $I=3$ а) | 1 |
| 6. Реостат ($R=500$ ом, $I=0,6$ а) | 1 |

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 12. Рассмотрим, какими свойствами обладает потенциометр в предположении, что напряжение на зажимах цепи U с изменением тока нагрузки I остается величиной постоянной. На практике это предположение с достаточной степенью точности имеет место при условии, что внутреннее сопротивление источника электрической энергии r_0 значительно

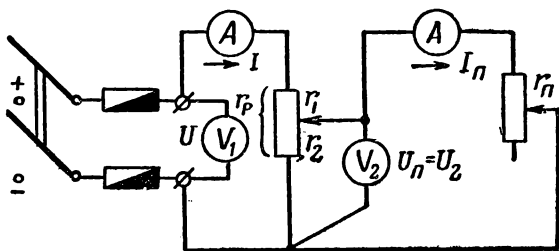


Рис. 12. Схема исследуемой цепи с собранным потенциометром

меньше сопротивления внешнего участка цепи r , т. е. при $r_0 \ll r$.

Эквивалентное сопротивление цепи r (рис. 12) нетрудно определить, если известны значения сопротивлений потенциометра r_1 и r_2 , а также сопротивления потребителя r_n . Учитывая, что r_2 и r_n соединены параллельно, а r_1 и r_{2n} последовательно, получим

$$r = r_1 + r_{2n}, \quad (6.1)$$

где

$$r_{2n} = \frac{r_2 r_n}{r_2 + r_n}. \quad (6.2)$$

Из формулы

$$U = I r_1 + U_n \quad (6.3)$$

следует, что падение напряжения на сопротивлении потребителя r_n будет равно

$$U_n = U - I r_1. \quad (6.4)$$

Так как ток в цепи

$$I = \frac{U}{r} \quad \text{или} \quad I = \frac{U}{r_1 + r_{2n}}, \quad (6.5)$$

то

$$U_n = U - \frac{U}{r_1 + r_{2n}} r_1 \quad (6.6)$$

или

$$U_n = U \left(1 - \frac{r_1}{r_1 + r_{2n}} \right). \quad (6.7)$$

Формулы (6.2) и (6.7) являются исходными для рассмотрения режимов работы потенциометра.

Если изменять положение ползунка потенциометра, то будет изменяться по величине каждое из сопротивлений потенциометра r_1 и r_2 . Соответственно с этим будет происходить перераспределение напряжения на r_1 и r_2 . Это приведет к тому, что напряжение на сопротивлении потребителя $r_{\text{п}}$ будет изменяться в зависимости от значения r_2 .

Рассмотрим два крайних случая:

- и а) $r_2 = 0, \quad r_1 = r = r_p$
 б) $r_1 = 0, \quad r_2 = r_p$.

Пусть ползунок потенциометра находится в крайнем нижнем положении, тогда, используя формулы (6.2), (6.7), получим

$$\begin{aligned} \text{а) } r_2 = 0; \quad r_1 = r_p = r; \quad r_{2\text{п}} = \frac{r_2 r_{\text{п}}}{r_2 + r_{\text{п}}} = \frac{0 \cdot r_{\text{п}}}{r_{\text{п}}} = 0; \\ U_{\text{п}} = U \left(1 - \frac{r_1}{r_1 + r_{2\text{п}}} \right) = U \left(1 - \frac{r_1}{r_1} \right) = U(1 - 1) = U \cdot 0 = 0; \\ U_{\text{п}} = 0. \end{aligned} \quad (6.8)$$

Для этого случая следует, что падение напряжения $U_{\text{п}}$ на сопротивлении потребителя $r_{\text{п}}$ равно нулю (6.8). Если же ползунок потенциометра поместить в крайнее верхнее положение, то

$$\begin{aligned} \text{б) } r_1 = 0; \quad r_2 = r_p; \quad r = r_{2\text{п}} = \frac{r_p \cdot r_{\text{п}}}{r_p + r_{\text{п}}}, \text{ где } r_p = r_1 + r_2; \\ U_{\text{п}} = U \left(1 - \frac{r_1}{r_1 + r_{2\text{п}}} \right) = U \left(1 - \frac{0}{r_{2\text{п}}} \right) = U; \\ U_{\text{п}} = U, \end{aligned} \quad (6.9)$$

т. е. напряжение $U_{\text{п}}$ на сопротивлении потребителя $r_{\text{п}}$ равно напряжению на зажимах источника тока (если, конечно, не учитывать падения напряжения на сопротивлениях подводящих проводов и амперметров).

Анализируя формулы (6.1), (6.2), (6.7), можно сделать первый вывод: схема потенциометра дает возможность плавно регулировать напряжение $U_{\text{п}}$ на потребителе в пределах от нуля до полного напряжения U , приложенного к зажимам цепи. Далее выясним, как изменяется напряжение на потребителе при изменении сопротивления потребителя $r_{\text{п}}$ и постоянном положении ползунка потенциометра. Очевидно, в этом случае каждое из сопротивлений r_1 и r_2

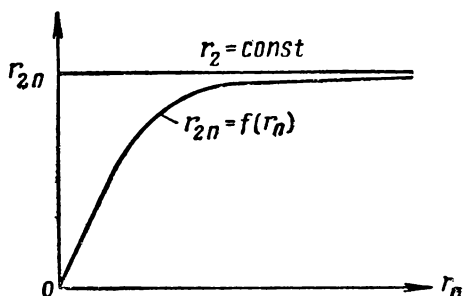


Рис. 13. График, иллюстрирующий зависимость изменения эквивалентного сопротивления $r_{2п}$ при изменении сопротивления потребителя r_n

будет постоянным. Любое изменение сопротивления потребителя r_n вызовет изменение эквивалентного сопротивления $r_{2п}$, однако, чем больше сопротивление r_n по отношению к r_2 , тем меньше будет изменяться $r_{2п}$.

График зависимости $r_{2п} = f(r_n)$ приведен на рис. 13. Так же будет выглядеть график зависимости

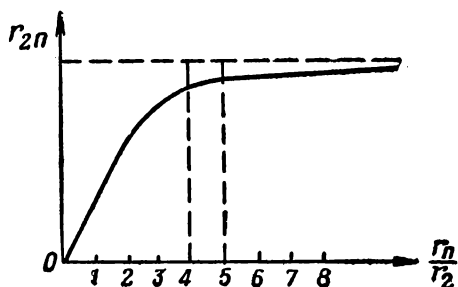


Рис. 14. График, иллюстрирующий зависимость изменения эквивалентного сопротивления $r_{2п}$ при изменении соотношений r_n к r_2

$$r_{2п} = f\left(\frac{r_n}{r_2}\right),$$

так как по условию r_2 — величина постоянная (рис. 14). Из графиков рис. 13 и 14 следует, что эквивалентное сопротивление $r_{2п}$ зависит от соотношения сопротивлений r_n и r_2 и при $r_n \gg r_2$ с изменением r_n практически остается неизменным и приближенно равным сопротивлению r_2 . Это

приводит к тому, что поскольку сопротивление $r_{2п}$ практически не изменяется с изменением r_n (в определенных пределах сохраняя $r_n \gg r_2$), то и напряжение на потребителе U_n также будет практически неизменным или изменится крайне незначительно.

Действительно,

$$U_n = I r_{2п} \quad (6.10)$$

но

$$r_{2п} \cong r_2 = \text{const.}$$

Тогда

$$I = \frac{U}{r_1 + r_{2п}} = \text{const},$$

следовательно,

$$U_{п} = I r_{2п} \approx \text{const.} \quad (6.11)$$

График зависимости

$$U_{п} = f\left(\frac{r_{п}}{r_2}\right)$$

приведен на рис. 15. Отсюда можно сделать второй вывод: при сопротивлении потенциометра, значительно меньшем сопротивления потребителя, напряжение на потребителе остается практически неизменным с изменением сопротивления потребителя.

Чтобы данный вывод был справедлив, практически достаточно, чтобы сопротивление потенциометра было меньше сопротивления потребителя в 4—5 раз. Таким образом, схема потенциометра целесообразна для практического применения в тех случаях, когда: 1) требуется плавная регулировка напряжения на потребителе в широких пределах; 2) требуется подать на потребитель напряжения меньше, чем напряжение сети при достаточной стабильности подаваемого напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 12.

2. При полностью введенном сопротивлении потребителя снять показания приборов при пяти положениях ползунка потенциометра: $r_2 = 0$; $r_2 = \frac{r_p}{4}$; $r_2 = \frac{r_p}{2}$; $r_2 = \frac{3r_p}{4}$; $r_2 = r_p$.

Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

$r_{п},$ $ОМ$	$r_2,$ $ОМ$	$U,$ $В$	$U_{п},$ $В$	$I,$ $А$	$I_{п},$ $А$	$r_{п},$ $ОМ$

3. При полностью введенном сопротивлении потребителя $r_{\text{п}}$ ползунком потенциометра установить напряжение на потребителе, указанное преподавателем. Не изменяя положения ползунка потенциометра и уменьшая сопротивление $r_{\text{п}}$, увеличивать ток нагрузки $I_{\text{п}}$ так, чтобы, придя к номинальному значению тока потребителя, получить 8—9 различных значений тока нагрузки $I_{\text{п}}$. Для всех значений тока нагрузки $I_{\text{п}}$ измерить напряжения U , $U_{\text{п}}$ и ток I .

Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

Измеренные величины				Расчетные величины				
$I_{\text{п}},$ а	$I,$ а	$U,$ в	$U_{\text{п}},$ в	$r_1,$ ом	$r_2,$ ом	$r_{\text{п}},$ ом	$\frac{r_{\text{п}}}{r_2}$	$r_{2\text{п}}$

4. По результатам измерений, занесенным в табл. 2, для всех значений тока нагрузки $I_{\text{п}}$ рассчитать:

$$r_1 = \frac{U - U_{\text{п}}}{I}; \quad r_2 = \frac{U_{\text{п}}}{I - I_{\text{п}}}; \quad r_{\text{п}} = \frac{U_{\text{п}}}{I_{\text{п}}}; \quad \frac{r_{\text{п}}}{r_2}; \quad r_{2\text{п}} = \frac{r_2 r_{\text{п}}}{r_2 + r_{\text{п}}}$$

Результаты расчета записать в соответствующие графы табл. 2.

5. По результатам табл. 1 построить график зависимости

$$U_{\text{п}} = f(r_2).$$

6. По измеренным и расчетным данным табл. 2 построить график зависимости

$$U_{\text{п}} = f\left(\frac{r_{\text{п}}}{r_2}\right).$$

На графике показать точку (с координатами $U_{\text{п}}$ и $\frac{r_{\text{п}}}{r_2}$), начиная с которой можно считать, что потенциометр обеспечивает стабильность напряжения на потребителе при изменении его сопротивления в определенных пределах.

7. Анализируя результаты опытов по табл. 1 и 2 и графикам

$$U_{\pi} = f\left(\frac{r_{\pi}}{r_2}\right); U_{\pi} = f(r_2),$$

сделать выводы о свойствах исследуемой схемы и возможностях ее практического использования.

Схему, результаты опытов, графики $U_{\pi} = f\left(\frac{r_{\pi}}{r_2}\right)$, $U_{\pi} = f(r_2)$ и выводы по работе отразить в отчете по установленной форме.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ДВУМЯ ЭДС

Цель. Исследовать режимы работы сложной цепи с двумя ЭДС и проверить применимость законов Кирхгофа к расчету сложных цепей.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Аккумуляторные батареи 5-НКН-45 и 4-НКН-10 | 2 |
| 2. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—15 в | 1 |
| 3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—5 а | 1 |
| 4. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—3 а | 1 |
| 5. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—1 а | 1 |
| 6. Реостат ($R=24 \text{ ом}$; $I=3 \text{ а}$) | 1 |
| 7. Постоянное сопротивление ($R=6 \text{ ом}$; $I=2 \text{ а}$) | 1 |
| 8. Постоянное сопротивление ($R=10 \text{ ом}$; $I=2 \text{ а}$) | 1 |

Сложной цепью постоянного тока называется такая разветвленная электрическая цепь, которая состоит из ряда электрических связанных контуров и содержит две или более электродвижущие силы.

Характерной особенностью такой цепи является то, что она не приводится к одному эквивалентному сопротивлению.

На участках каждого отдельного замкнутого контура в общем случае протекают разные по величине токи и имеются те или иные электродвижущие силы.

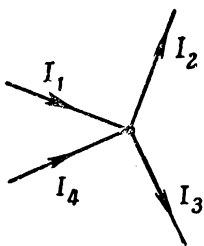


Рис. 16. Распределение токов I_1, I_2, I_3, I_4 в точке разветвления

Исследовать сложную цепь — это значит определить режим работы цепи, т. е. по заданным ЭДС и сопротивлениям отыскать величины и направления токов.

Может быть поставлена и обратная задача, а именно — по заданным токам и сопротивлениям определить электродвижущие силы и напряжения на отдельных участках цепи.

Определение режима работы сложной цепи, а следовательно, и выяснение распределения токов и напряжений в ней возможно при помощи двух законов Кирхгофа.

Как известно, 1-й закон Кирхгофа устанавливает соотношение между токами, притекающими к точке разветвления, и токами, утекающими от этой же точки.

Применительно к рис. 16 математическая запись 1-го закона Кирхгофа будет иметь вид

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3. \quad (7.1)$$

Сумма токов, притекающих к точке разветвления, равна сумме токов, утекающих от нее.

Если считать токи притекающие положительными (I_1, I_4), а утекающие (I_2, I_3) — отрицательными, то закон можно сформулировать так.

Алгебраическая сумма всех токов, составленная для точки разветвления их, равна нулю:

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 = 0 \text{ или } \sum I = 0, \quad (7.2)$$

где $\sum I$ — алгебраическая сумма токов.

2-й закон Кирхгофа устанавливает соотношение между ЭДС, действующими в замкнутом контуре, и падениями напряжения на отдельных его участках и читается так.

Алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех участках контура:

$$\sum E = \sum Ir, \quad (7.3)$$

где $\sum E$ — алгебраическая сумма ЭДС источников тока;

$\sum Ir$ — алгебраическая сумма падений напряжения.

При расчете сложной цепи важно знать не только формулировки 1-го и 2-го законов Кирхгофа, а главным образом применение законов Кирхгофа к расчету сложной цепи.

Рассмотрим сложную цепь (рис. 17), которая состоит из двух источников электрической энергии, обладающих ЭДС E_1 и E_2 с внутренними сопротивлениями r_{01} и r_{02} , а также потребителя с сопротивлением r_3 .

Чтобы определить, какой установился режим в цепи, необходимо найти величины и направления токов во всех ее участках, считая, что значения всех ЭДС и сопротивлений известны.

Для этого придется составить столько независимых уравнений по законам Кирхгофа, сколько неизвестных токов в цепи. Цепь, изображенная на рис. 17, имеет три тока: I_1 , I_2 , I_3 , следовательно, и уравнений должно быть столько же.

При составлении уравнений рекомендуется придерживаться следующих правил:

1. Задаются произвольным направлением токов и считают это направление положительным. (На рис. 17 направления токов указаны стрелками.) Если при решении уравнений какой-либо ток окажется со знаком минус, то его следует считать направленным в противоположную сторону (изменить направление стрелки на чертеже).

2. По первому закону Кирхгофа составляется $n - 1$ независимых уравнений, где n — число узловых точек.

3. Выбирают направление обхода по контуру.

Если направление обхода контура на данном участке совпадает с направлением тока, то падение напряжения на этом участке считается положительным, в противном случае — отрицательным.

ЭДС берется со знаком плюс, если при принятом направлении обхода контура сначала встречается отрицательный полюс источника тока; при встрече с положительным полюсом ЭДС считается отрицательной.

4. По второму закону Кирхгофа составляется недостающее число уравнений. Эти уравнения, составленные для контуров, должны быть также независимыми.

Для этого достаточно, чтобы каждое уравнение имело

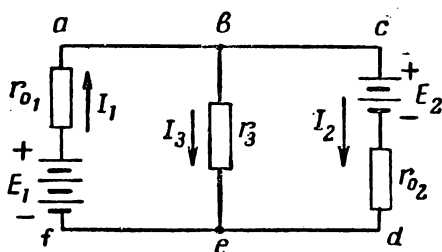


Рис. 17. Сложная цепь, которая не приводится к одному эквивалентному сопротивлению

по меньшей мере одну ветвь, которая не входила бы в контуры, для которых уже составлены уравнения.

Зная вышеперечисленные правила, можно приступить к составлению уравнений.

В сложной цепи (рис. 17) имеются две узловые точки *в* и *е*.

Следовательно, $n=2$, а уравнение, составленное по первому закону Кирхгофа, одно ($n-1=2-1=1$):

$$I_1 = I_2 + I_3. \quad (7.4)$$

Для контура *avefa* (обход по часовой стрелке)

$$E_1 = I_1 r_{01} + I_3 r_3. \quad (7.5)$$

Для контура *acdfa* (направление обхода то же, что и в первом случае)

$$E_1 - E_2 = I_1 r_{01} + I_2 r_{02}. \quad (7.6)$$

Решив совместно уравнения (7.4), (7.5), (7.6), мы определим как значение токов (I_1 , I_2 , I_3), так и их направление.

Рассмотрев метод расчета сложных цепей при помощи законов Кирхгофа, остановимся на тех режимах, которые возможны в исследуемой цепи.

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 18, где $E_1 > E_2$, сопротивления r_1 и r_2 разные по величине, а сопротивление r_3 может изменяться в некоторых пределах.

Рассмотрим, какие режимы работы источников электрической энергии возможны в цепи в зависимости от величины сопротивления r_3 .

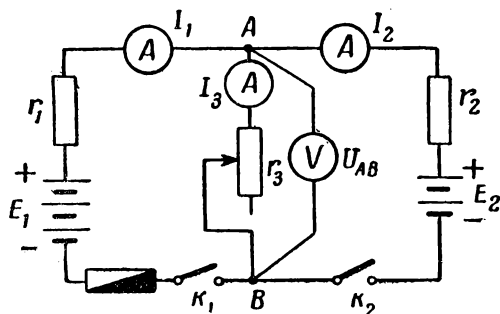


Рис. 18. Схема исследуемой сложной цепи

Первый режим. Величина сопротивления r_3 подобрана так, что $E_2 = U_{AB}$. В этом случае ток $I_2 = 0$, т. е. источник с ЭДС E_2 находится в режиме холостого хода, а источник с ЭДС E_1 работает в режиме генератора.

Второй режим. Величина сопротивления r_3 подобрана так, что $E_2 > U_{AB}$. В этом случае оба источника электрической энергии работают в режиме генератора, питая совместно ветвь с сопротивлением r_3 , при этом токи I_1 и I_2 совпадают с направлением действия соответствующих ЭДС E_1 и E_2 .

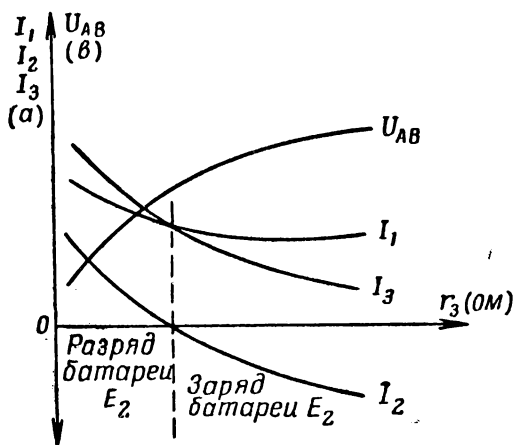


Рис. 19. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения напряжения U_{AB} , токов I_1 , I_2 , I_3 при изменении сопротивления r_3

Третий режим. Величина сопротивления r_3 подобрана таким образом, что $E_2 < U_{AB}$. В этом случае направление тока I_2 будет противоположно направлению действия ЭДС E_2 , т. е. источник электрической энергии с ЭДС E_2 будет находиться в режиме приемника (потребителя) электрической энергии, а источник с ЭДС E_1 будет работать в режиме генератора.

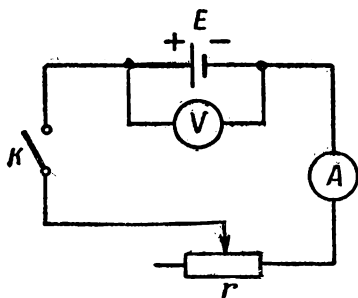
Необходимо при этом отметить, что ток I_3 во всех трех режимах имеет одно и то же направление от точки А к точке В (рис. 18).

Зависимость I_1 , I_2 , I_3 и U_{AB} от величины сопротивления r_3 показаны на рис. 19.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис. 20) и, включая в нее поочередно источники электрической энергии, измерить вольтметром их ЭДС при разомкнутом рубильнике K .

При замкнутом рубильнике K и токе, близком к номинальному, измерить напряжение U , ток I в цепи и вычислить внутреннее сопротивление каждого источника по формуле



$$r_0 = \frac{E - U}{I}.$$

Результаты наблюдений и вычислений занести в табл. 1.

Рис. 20. Цепь для определения электродвижущей силы E и внутреннего сопротивления r_0 источника электрической энергии

2. С помощью омметра измерить сопротивления r_1 и r_2 . Результаты измерений занести в табл. 2. (Измерение производится под руководством преподавателя.)

3. Собрать схему (рис. 18). Изменяя сопротивление r_3 в пределах, указанных преподавателем, добиться трех рассмотренных выше электрических режимов работы цепи. Результаты наблюдений занести в табл. 2.

Таблица 1

Источник электрической энергии	$E, \text{ в}$	$U, \text{ в}$	$I, \text{ а}$	$r_0, \text{ ом}$
Батарея с ЭДС E_1				$r_{01} =$
Батарея с ЭДС E_2				$r_{02} =$

В ветвь с сопротивлением r_2 желательно включить амперметр с нулем в середине шкалы, по отклонению стрелки которого следует судить о характере режима в данной цепи.

По результатам наблюдений построить графики зависимостей I_1, I_2, I_3 и U_{AB} от величины сопротивления r_3 .

Таблица 2

$I_1,$ a	$I_2,$ a	$I_3,$ a	$U_{AB},$ v	Примечание
				$r_1 =$
				$r_2 =$
				$E_1 =$
				$E_2 =$

4. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа для одного из значений r_3 , когда цепь работает в третьем режиме.

Значение сопротивления r_3 определить по опытным данным I_3 и U_{AB} , для чего, не выключая выключатель K_2 , поставить выключатель K_1 в положение включено.

При расчете пренебречь сопротивлениями амперметров и соединительных проводов, а также внутренними сопротивлениями источников электрической энергии, если они будут много меньше, чем сопротивления r_1 , r_2 и r_3 .

Сравнить вычисленные значения токов с опытными данными.

5. В выводах указать, какие возможны в цепи режимы работы, и дать оценку применимости законов Кирхгофа к расчету сложных цепей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТРОЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДИАГРАММ

Цель. Получить практические навыки в определении опытным путем потенциалов в различных точках цепи, расчете и построении потенциальных диаграмм.

Материальное обеспечение:

1. Аккумуляторная батарея (10-НКН-45) 2
2. Постоянные проводочные сопротивления 3
3. Реостат ($R=80 \text{ ом}$; $I=2 \text{ а}$) 1
4. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0-1 \text{ а}$ 1
5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения $0-150 \text{ в}$ 1

При обнаружении неисправностей, возникающих при эксплуатации радиотехнической аппаратуры или другой.

которая работает нормально при определенном подведенном напряжении, важно знать, какие элементы цепи (блоки, контуры, делители напряжения и т. п.) работают в ненормальном режиме. Режим считается отклоненным от нормы, если напряжение на элементе цепи будет занижено или повышено, т. е. будет отличаться от номинального напряжения, при котором это устройство работает нормально. Обычно интересуются не напряжением, а потенциалом данной точки цепи относительно другого, заведомо известного и одинакового для всех точек потенциала. Таким потенциалом считают потенциал земли, который принимают равным нулю $\varphi_3=0$. В радиостанциях средней и большой мощности, радиолокационных станциях, электростанциях подвижного типа и другой электроаппаратуре корпуса заземляются, следовательно, их потенциалы будут равны потенциалу земли ($\varphi_{\text{корп}} = \varphi_3 = 0$).

Если не произведено заземление (например, в маломощных радиостанциях переносного типа), то условно принимают за нулевой потенциал потенциал какой-либо точки цепи и относительно этого потенциала определяют потенциалы других точек монтажа. Обычно этой точкой будет также корпус, на который подан «минус» источника тока (отрицательный потенциал). В расчетах и измерениях эту точку условно считают заземленной.

По опытным данным в нормальном режиме можно построить потенциальные диаграммы, т. е. графически изобразить изменение потенциала вдоль цепи.

Сравнивая потенциальную диаграмму с результатами опыта, нетрудно сделать заключение, нормально ли работает тот или иной элемент цепи радиоаппаратуры.

При построении потенциальной диаграммы следует иметь в виду следующие положения:

1. В любой электрической цепи, которая находится под напряжением, каждая точка цепи имеет определенный потенциал. При переходе от одной точки к другой потенциалы не остаются постоянными, а изменяются.

2. Наибольший положительный φ_a и отрицательный φ_d потенциалы будут иметь зажимы цепи, которые подсоединены к положительному и отрицательному полюсам источника тока (рис. 21).

Разность потенциалов на зажимах цепи φ_a и φ_d есть то напряжение U , которое приложено к зажимам цепи:

$$U = \varphi_a - \varphi_d$$

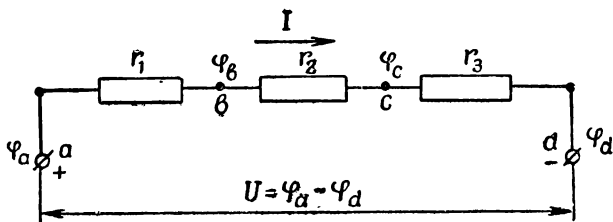


Рис. 21. Распределение потенциалов φ в различных точках цепи

Уменьшение потенциала вдоль цепи, начиная с точки a , где потенциал φ_a , будет происходить, очевидно, по направлению тока, т. е. φ_a будет больше φ_b , а φ_b в свою очередь будет больше φ_c и т. д.

Зная потенциал какой-либо точки, нетрудно определить потенциал другой точки, если известно падение напряжения на сопротивлении, находящемся между этими точками. Например, для точек b и c (рис. 21)

$$\varphi_b - \varphi_c = Ir_2,$$

откуда

$$\varphi_c = \varphi_b - Ir_2. \quad (8.1)$$

В зависимости от того, какую точку цепи условно принять за заземленную, потенциальная диаграмма будет иметь различный вид, однако для всех случаев распределения потенциала вдоль цепи будет иметь линейный характер, т. е. потенциальные диаграммы будут изображаться в виде прямых линий. Построим потенциальные диаграммы для цепи, изображенной на рис. 21, считая, что одна из следующих точек цепи условно заземлена:

- 1) $\varphi_a = 0$; 2) $\varphi_d = 0$; 3) $\varphi_b = 0$.

Во всех случаях по оси ординат будем откладывать в масштабе численное значение потенциалов точек цепи φ , а по оси абсцисс в своем масштабе величины сопротивлений участков r .

Случай 1: $\varphi_a = 0$

Так как потенциал точки a принят равным нулю $\varphi_a = 0$, то потенциалы точек цепи, лежащие вправо от точки a , будут все отрицательными (рис. 22),

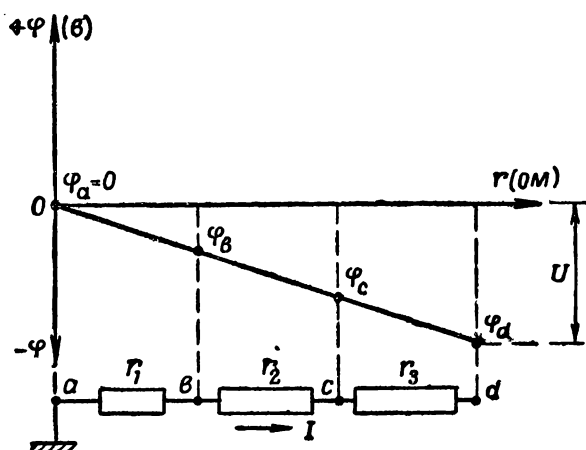


Рис. 22. Потенциальная диаграмма для случая $\varphi_a = 0$

Действительно,

$\varphi_a - \varphi_b = Ir_1$; $\varphi_b = \varphi_a - Ir_1$, но $\varphi_a = 0$,
откуда

$$\varphi_b = 0 - Ir_1 \text{ или } \varphi_b = -Ir_1. \quad (8.2)$$

Аналогично

$\varphi_a - \varphi_c = I(r_1 + r_2)$; $\varphi_c = \varphi_a - I(r_1 + r_2)$, но $\varphi_a = 0$,
тогда

$$\begin{aligned} \varphi_c &= 0 - I(r_1 + r_2); \\ \varphi_c &= -I(r_1 + r_2). \end{aligned} \quad (8.3)$$

Для точки d

$\varphi_a - \varphi_d = I(r_1 + r_2 + r_3)$; $\varphi_d = \varphi_a - I(r_1 + r_2 + r_3)$,
но $\varphi_a = 0$, следовательно, $\varphi_d = 0 - I(r_1 + r_2 + r_3)$;

$$\varphi_d = -I(r_1 + r_2 + r_3), \quad (8.4)$$

или, что то же,

$$\begin{aligned} \varphi_a - \varphi_d &= U; \quad \varphi_d = \varphi_a - U; \quad \varphi_a = 0; \quad \varphi_d = 0 - U; \\ \varphi_d &= -U. \end{aligned} \quad (8.5)$$

Пользуясь расчетными (или опытными) данными, получим потенциальную диаграмму, изображенную на рис. 22.

Случай 2: $\varphi_d = 0$

Потенциал точки d принят равным нулю $\varphi_d = 0$, следовательно, потенциалы точек цепи, лежащие влево от точки d (рис. 23), будут все положительные. Численные значения промежуточных потенциалов, лежащих между φ_d и φ_a , могут быть вычислены по формулам, приведенным в первом случае. Потенциал в точке a , видимо, будет по значению равен приложенному к цепи напряжению U (рис. 23).

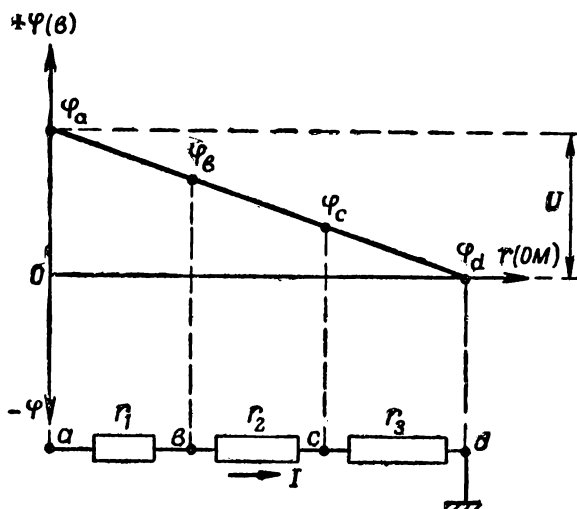


Рис. 23. Потенциальная диаграмма для случая $\varphi_d = 0$

Случай 3: $\varphi_b = 0$

Все точки цепи, лежащие вправо от точки b , имеющей потенциал, равный нулю ($\varphi_b = 0$), имеют отрицательные потенциалы, лежащие влево от нее — положительные (рис. 24). Расчетные формулы для определения как положительных, так и отрицательных потенциалов будут иметь вид

$$\begin{aligned} \varphi_a - \varphi_b &= Ir_1; & \varphi_a &= \varphi_b + Ir_1; & \varphi_b &= 0; \\ \varphi_a &= Ir_1. \end{aligned} \quad (8.6)$$

$$\varphi_b - \varphi_c = Ir_2; \quad \varphi_c = \varphi_b - Ir_2; \quad \varphi_b = 0;$$

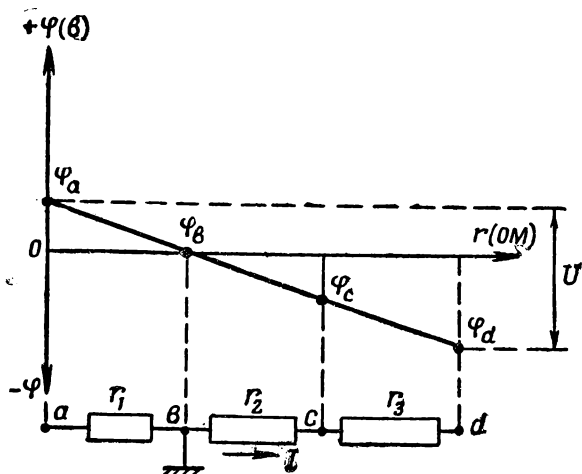


Рис. 24. Потенциальная диаграмма для случая $\varphi_b = 0$

$$\varphi_c = -Ir_2. \quad (8.7)$$

$$\begin{aligned} \varphi_b - \varphi_d &= I(r_2 + r_3); \quad \varphi_b = 0; \\ \varphi_d &= -I(r_2 + r_3). \end{aligned} \quad (8.8)$$

Очевидно, что напряжение U , приложенное к цепи, по любой построенной потенциальной диаграмме будет определяться как арифметическая сумма абсолютных величин потенциалов зажимов цепи φ_a и φ_d (рис. 24):

$$U = |\varphi_a| + |\varphi_d| \text{ или } U = \varphi_a - (-\varphi_d) = \varphi_a + \varphi_d. \quad (8.9)$$

Построение и расчет потенциальной диаграммы для случая, когда точка c (рис. 21) заземлена, ничем не отличается от расчета, приведенного в случае 3.

На практике потенциальные диаграммы (или потенциальные карты) можно построить по опытным данным. Для этого необходимо одним из щупов вольтметра коснуться заземленной точки цепи или точки, условно принятой за заземленную ($\varphi_T = 0$), а другим, поочередно касаясь других точек цепи, замерить значение потенциалов.

Если при измерениях стрелка прибора будет зашкаливать от нуля влево, т. е. будет нарушена полярность прибора, то следует поменять местами щупы прибора и продолжать измерения.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 25.
2. Ввести реостат r_1 (поставить ползунок реостата в положение A), подать напряжение сети U на зажимы цепи и измерить по амперметру величину тока I , а при помощи

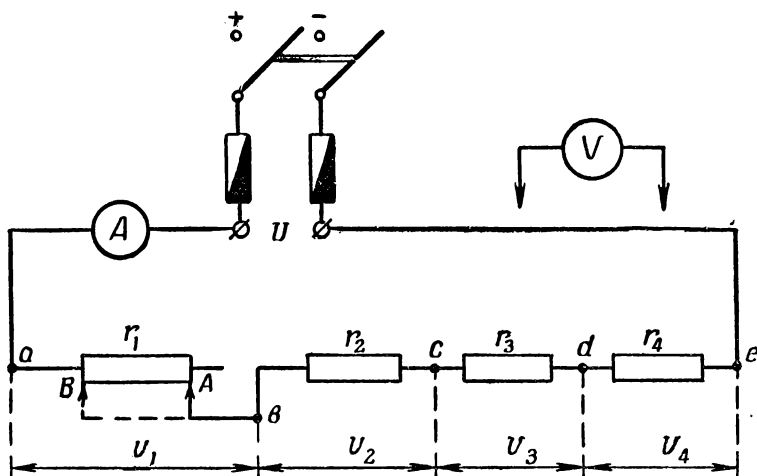


Рис. 25. Схема исследуемой цепи с последовательно включенными сопротивлениями r_1 ; r_2 ; r_3 ; r_4

вольтметра падение напряжения U_1 , U_2 , U_3 , U_4 на отдельных сопротивлениях (r_1 , r_2 , r_3 , r_4) и на зажимах цепи U . Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Наблюдения						Вычисления				
I , а	U , в	U_1 , в	U_2 , в	U_3 , в	U_4 , в	R , ом	r_1 , ом	r_2 , ом	r_3 , ом	r_4 , ом

3. Пользуясь опытными данными табл. 1, вычислить значение сопротивлений r_1, r_2, r_3, r_4 и эквивалентное сопротивление цепи R .

4. Поочередно принимая потенциалы точек a, c, e равными нулю ($\varphi_a=0, \varphi_c=0, \varphi_e=0$), измерить при помощи вольтметра потенциалы φ всех других точек цепи.

Такие же измерения проделать, когда реостат выведен (ползунок реостата поставить в положение B) (рис. 25). Опытные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Наблюдения					Вычисления					Примечание
$\varphi_a,$ φ	$\varphi_b,$ φ	$\varphi_c,$ φ	$\varphi_d,$ φ	$\varphi_e,$ φ	$\varphi_a,$ φ	$\varphi_b,$ φ	$\varphi_c,$ φ	$\varphi_d,$ φ	$\varphi_e,$ φ	
0										При введенном реостате
		0								
				0						
0										При выведенном реостате
		0								
				0						

5. Пользуясь опытными данными табл. 1, вычислить значение потенциалов в указанных точках цепи (п. 4) для случая, когда реостат введен, считая, что цепь работает в нормальном режиме. Занести результаты вычислений в табл. 2. Построить потенциальные диаграммы по опытным и вычисленным данным, используя один и тот же масштаб.

6. По опытным данным, указанным в табл. 2 для случая, когда реостат выведен (считая, что цепь работает в ненормальном режиме), построить потенциальные диаграммы.

В отчете по практической работе сравнить потенциальные диаграммы для двух режимов (1 режим — введен реостат, 2 режим — выведен реостат) и пояснить, почему потенциалы точек цепи оказались различными,

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

ПРОВЕРКА И РЕГУЛИРОВКА НЕЙТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель. Получить практические навыки в проверке и регулировке нейтральных электромагнитных реле постоянного тока.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник постоянного тока с напряжением 12 в | 1 |
| 2. Прибор для проверки и регулировки реле | 1 |
| 3. Щуп | 1 |
| 4. Граммометр | 1 |
| 5. Пружиновыгибатель | 1 |
| 6. Крючок для снятия пружины якоря | 1 |
| 7. Отвертка | 1 |
| 8. Клещи «утиный нос» | 1 |
| 9. Ключ под шестигранник и четырехгранную головку | 1 |

На рис. 26 изображено устройство телефонного реле РКН-100, используемое для автоматического управления электрическими цепями в системах автоматики и телемеханики. Данное реле относится к типу нейтральных электромагнитных реле постоянного тока с поворотным якорем. Нейтральными такие реле называются потому, что их работа не зависит от направления тока в обмотке реле (они нейтральны к направлению тока).

При проверке данного типа реле необходимо:

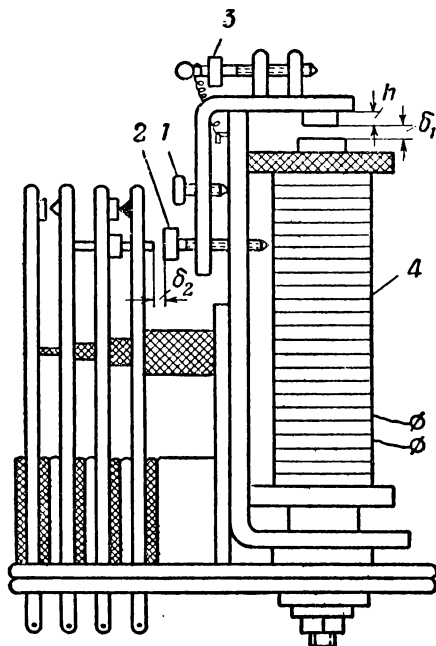
- 1) Измерить высоту латунного штифта якоря (h).

Высота латунного штифта измеряется щупом при притянута-том положении якоря. Нормальная для данного типа реле высота штифта $h=0,2$ мм.

2) Измерить ход якоря (δ_1), т. е. расстояние между латунным штифтом и сердечником катушки реле, измеренное щупом в отпущенном положении якоря. Нормальный ход якоря $\delta_1=0,7$ мм. Ход якоря регулируется при помощи упорного винта 1 с четырехгранной головкой, расположенного на якоре реле (рис. 26).

3) Измерить люфт δ_2 , т. е. расстояние между шестигранной головкой винта 2 и нижней контактной пружиной реле. Величина люфта измеряется щупом при отпущенном якоре и регулируется ввертыванием или вывертыванием винта 2 при помощи гаечного ключа, нормально люфт должен быть около 0,2 мм.

Контактное давление в граммах измеряют при помощи небольшого динамометра (граммометра), держа его перо



1 — упорный винт с четырехгранной головкой; 2 — упорный винт с шестигранной головкой; 3 — винт регулировки натяжения пружины; 4 — управляющая обмотка

5) Измерить натяжение пружины якоря F . Натяжение пружины якоря измеряется граммометром; нормальное натяжение должно быть 5—10 г. Натяжение пружины якоря регулируется ввертыванием или вывертыванием винта 3,

являющегося одной из опор пружины. Для снятия пружины якоря применяется специальный крючок, внешний вид которого показан на рис. 28.

6) Измерить ток срабатывателя и ток отпускания реле.

Током срабатывания ($I_{ср}$) называется минимальное значение тока в управляющей обмотке 4, при котором происходит надежное срабатывание реле. Током отпу-

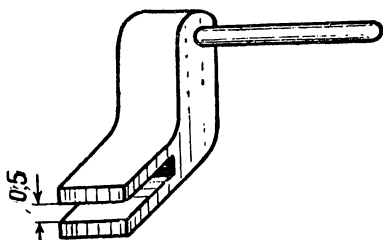


Рис. 27. Пружиновыгибатель

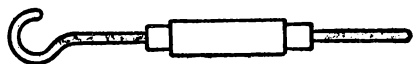


Рис. 28. Крючок для снятия пружины

сказания ($I_{отп}$) называется максимальное значение тока в управляющей обмотке, при котором происходит отпускание реле, т. е. возврат его в начальное положение. Измерение тока срабатывания и тока отпускания реле производится при помощи специального прибора, на котором смонтировано реле. Принципиальная схема этого прибора приведена на рис. 29, а внешний вид его показан на рис. 30.

Измерение тока срабатывания и тока отпускания реле производится в следующей последовательности:

1) Ручка потенциометра Π ставится в крайнее левое положение.

2) Включается ключ K . При помощи включения ключа K загорается лампа $СЛ$, сигнализируя о том, что питание на прибор подано.

3) Плавно поворачивая ручку потенциометра вправо, увеличивают ток в обмотке реле до тех пор, пока не загорится лампа $Л2$ (реле сработало). В этом положении показания миллиамперметра соответствуют току срабатывания реле ($I_{ср}$).

4) Плавно поворачивая ручку потенциометра влево, уменьшают ток в обмотке реле до тех пор, пока не загорится лампа $Л1$, а лампа $Л2$ не погаснет. В этом положении показания миллиамперметра соответствуют току отпускания реле ($I_{отп}$).

Для реле РКН-100 ток срабатывания должен быть 8—10 *ма*, ток отпускания 2—3 *ма*.

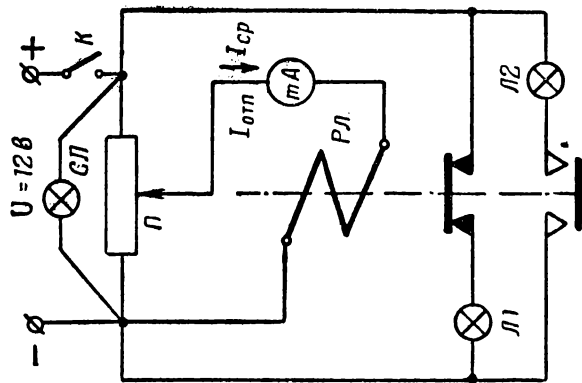


Рис. 29. Принципиальная схема прибора, предназначенного для испытания телефонного реле РКН-100:
 П — потенциометр; СЛ — сигнальная лампа; РЛ — реле; Л1 и Л2 — индикаторные лампы

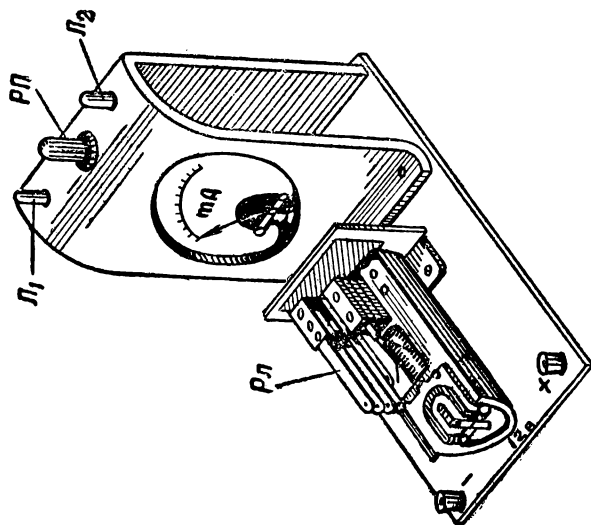


Рис. 30. Прибор для испытания телефонного реле типа РКН-100 (внешний вид):
 РЛ — реле; П — ручка потенциометра; Л1 и Л2 — индикаторные лампы

Изменение тока срабатывания реле производится изменением натяжения пружины или хода якоря.

Изменение тока отпускания реле производится изменением высоты латунного штифта якоря, изменением контактного давления и изменением натяжения пружины якоря.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство реле РКН-100.
2. Проверить чистоту и исправность контактов реле.
3. Измерить высоту штифта якоря h , ход якоря δ_1 , люфт δ_2 , контактное давление P_k и натяжение пружины якоря F .

Результаты измерения записать. В случае отклонения измеренных величин от установленных норм путем регулировки довести их до нормы.

4. Подключить питание к прибору и измерить ток срабатывания и ток отпускания реле.

Результаты измерений записать. При отклонении измеренных величин от установленных норм отрегулировать реле.

Питание прибора осуществляется от источника постоянного тока с напряжением 12 в.

5. Изменяя ход якоря δ_1 от 0,2 до 1 мм через каждые 0,1 мм, измерить величину тока срабатывания $I_{ср}$ и тока отпускания $I_{отп}$ реле.

Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

Ход якоря δ_1 , мм	$I_{ср}$, мА	$I_{отп}$, мА	Примечание
0,2			При всех значениях хода якоря натяжение пружины якоря устанавливается одинаковым
0,3			
0,4			
0,5			
0,6			
0,7			
0,8			
0,9			
1,0			

6. По данным табл. 1 построить графики

$$I_{ср} = f(\delta_1) \text{ и } I_{отп} = f(\delta_1),$$

где δ_1 — ход якоря.

7. Составить отчет по установленной форме, в котором отразить:

- а) перечень приборов и инструментов, использованных при проверке и регулировке реле;
- б) схему прибора для измерения тока срабатывания и тока отпускания реле;
- в) результаты измерений до и после регулировки реле;
- г) графики зависимостей $I_{\text{ср}} = f(\delta_1)$ и $I_{\text{отп}} = f(\delta_1)$;
- д) выводы о техническом состоянии проверенного реле до и после регулировки.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗА

Цель. Получить практические навыки в снятии опытных данных для построения кривых намагничивания, петли гистерезиса, имея различные образцы ферромагнитных материалов: магнитомягкий и магнитотвердый.

Материальная часть:

- | | |
|--|---|
| 1. Источник постоянного тока с напряжением 24 в | 1 |
| 2. Гальванометр магнитоэлектрической системы особой конструкции | 1 |
| 3. Образцы подковообразной формы, изготовленные из ферромагнитного материала | 2 |
| 4. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—1 а | 1 |
| 5. Реостат на 24 ом, $I=3$ а | 1 |
| 6. Переключатель для смены полярности подводимого напряжения к гальванометру | 1 |
| 7. Выключатель однополюсный | 2 |
| 8. Гальванический элемент ЗС | 1 |

Ферромагнитные материалы очень широко используются в технике связи, а именно в трансформаторах, электрических машинах, дросселях низкой частоты и т. д.

Чтобы заранее знать их свойства и как они будут вести себя в магнитных полях, опытным путем снимают кривые намагничивания и петли гистерезиса, т. е. зависимость магнитной индукции B от напряженности H магнитного поля:

$$B = F(H).$$

Опытные данные в нашей работе предлагается снимать одним из приближенных методов. В качестве прибора используется модернизированный гальванометр школьного типа, в котором подковообразный магнит заменен электромагнитом. Сердечником электромагнита служит испытуемый образец.

Прибор (рис. 31) имеет следующие конструктивные изменения:

1. Постоянный магнит снят, но полюсные надставки оставлены; к полюсным надставкам при помощи двух винтов закрепляется испытуемый образец.

2. На стенке корпуса прибора укреплены две катушки на 1500 витков каждая (провод медный, изолированный, диаметром 0,2 мм). Обмотки соединены последовательно, и намотка их сделана так, чтобы магнитные потоки катушек складывались. Концы обмоток выведены к клеммам *а* и *б*.

3. Шкала гальванометра заменена другой шкалой с нулем посредине, от которого вправо и влево имеется по 40 делений.

4. Последовательно с подвижной катушкой прибора включено гасящее сопротивление r_r и выключатель K_1 (рис. 32).

Для того чтобы прибор был готов к действию, необходимо к подвижной рамке прибора подсоединить гальванический элемент ЗС, а к катушкам электромагнита подвести постоянное напряжение ± 24 в. Так как это напряжение необходимо в процессе опыта не только плавно регулировать, но и изменять полярность, то оно снимается с потенциометра через переключатель *Пр*. Исследуемая цепь изображена на рис. 32.

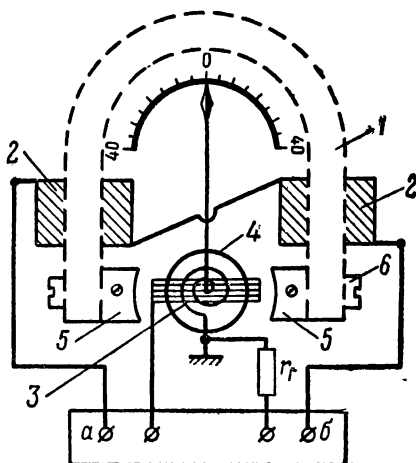


Рис. 31. Гальванометр школьного типа, приспособленный для снятия кривых намагничивания и петли гистерезиса:

1 — испытуемый образец; 2 — управляющая обмотка (катушка); 3 — подвижная рамка; 4 — железный цилиндр; 5 — полюсные надставки; 6 — винт крепления образца

Принцип действия установки, предназначенной для исследования магнитных свойств железа, состоит в следующем.

Известно, что вращающий момент $M_{вр}$, который испытывает подвижная катушка с током I_k , помещенная в магнитное поле, определяется уравнением

$$M_{вр} = WSB I_k \sin \alpha. \quad (10.1)$$

Форма полюсных наконечников и железного цилиндра в этом приборе такова, что произведение числа витков W и пло-

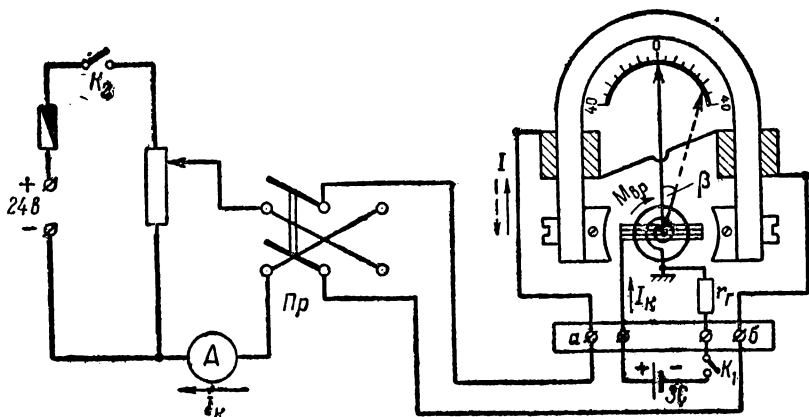


Рис. 32. Схема прибора с подключенными к нему источниками электрической энергии

щади S подвижной катушки, а также синуса угла α (угол поворота катушки, составленный нормалью к ее плоскости и направлением магнитных линий) есть величина постоянная:

$$WS \sin \alpha = K, \quad (10.2)$$

где K — постоянная величина, характеризующая конструкцию прибора.

Следовательно, $M_{вр}$ прямо пропорционален магнитной индукции B испытываемого образца и току I_k , протекающему по подвижной катушке

$$M_{вр} = KBI_k. \quad (10.3)$$

Если не изменять величину тока подвижной катушки I_K , то момент вращения $M_{вр}$ будет зависеть только от величины магнитной индукции сердечника B :

$$M_{вр} = k_1 B, \quad (10.4)$$

где $k_1 = k I_K = \text{const}$, так как $I_K = \text{const}$.

Чтобы выполнить это условие, к подвижной катушке подключен, как указывалось выше, гальванический элемент ЗС, который во время опыта непрерывно питает обмотку подвижной катушки постоянным током.

Изменяя величину магнитной индукции B испытуемого образца путем увеличения или уменьшения тока I , протекающего по катушкам 2 (рис. 31), изменяем соответственно и $M_{вр}$ (10.4), что приводит к отклонению подвижной системы прибора от ее первоначального положения на угол β .

Таким образом, можно косвенно судить о величине магнитной индукции B по углу β :

$$\beta = f_1(B). \quad (10.5)$$

В то же время напряженность магнитного поля H , создаваемая катушками 2, пропорциональна току I , проходящему по ним:

$$H = f_2(I). \quad (10.6)$$

В свою очередь магнитная индукция B зависит от напряженности магнитного поля H , а следовательно, тока I :

$$B = f_3(H). \quad (10.7)$$

Сравнивая формулы (10.5), (10.6) и (10.7), видим, что угол отклонения подвижной системы β пропорционален току I в катушках электромагнита:

$$\beta = f_4(I). \quad (10.8)$$

Следовательно, определенная взаимосвязь между β и I дает пропорциональную зависимость между B и I (10.5), (10.6).

Это позволяет по опытным данным β и I построить кривые намагничивания и петли гистерезиса, определяющие зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H (10.7).

Следует иметь в виду, что испытуемый образец можно размагничивать, а также намагничивать в различных направлениях (вплоть до магнитного насыщения) путем

регулирования тока I , подавая с потенциометра на катушки разное по величине напряжение.

Полученные кривые будут иметь характерный вид, показанный на рис. 33.

Перед проведением опыта необходимо сердечник испытуемого материала размагнитить, для чего изменением направления и величины тока I добиваются такого положения, при котором стрелка прибора не отклоняется, т. е.

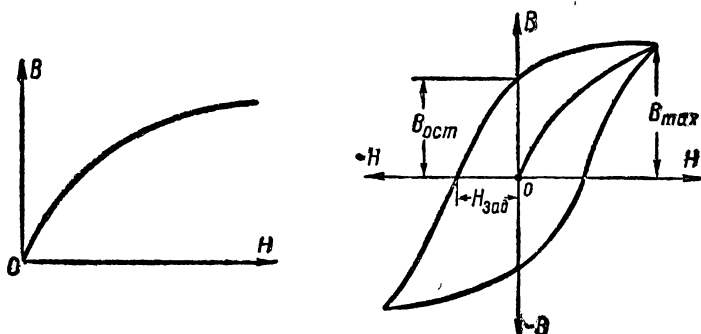


Рис. 33. Графики $B = f(H)$, иллюстрирующие намагничивание и перемагничивание материала при изменении напряженности магнитного поля

стоит на нуле (нет взаимодействия подвижной катушки с током и магнитным полем магнитной системы прибора).

Проводимые испытания должны показать получаемые кривые намагничивания, петли гистерезиса и их характерные особенности для двух образцов ферромагнитного материала.

Порядок выполнения работы

1. Вставить в катушки испытуемый образец и прикрепить его к полюсным надставкам двумя винтами.

2. Собрать электрическую цепь (рис. 32).

3. Замкнуть K_1 и K_2 . Изменяя при помощи переключателя $Пр$ полярность, а при помощи ползунка потенциометра величину тока I , размагнитить сердечник (стрелка прибора должна встать на нуль, $\beta = 0$).

4. Снять опытные данные для кривой намагничивания и петли гистерезиса, для чего:

а) при фиксированном положении $Пр$ увеличивать через равные значения I , начиная с $I = 0$ (по амперметру),

определяя одновременно положение стрелки, т. е. значения β (по шкале прибора). Опытные данные снимать до максимального отклонения стрелки — $\beta_{\text{макс}}$;

б) уменьшать I через равные значения до нуля, фиксируя значения β . Опытные данные записать в табл. 1;

Таблица 1

Образец 1		Образец 2		Примечание
$I (H),$ $ма$	$\beta (B)$	$I (H),$ $ма$	$\beta (B)$	
				β измеряется в относительных единицах измерения шкалы

в) при $I=0$ поставить переключатель Pr в другое крайнее положение, что позволит изменить направление тока I , а следовательно, и полярность намагничивания. Постепенно увеличивая значение β до максимума, а потом снижая до минимума (при $I=0$) путем изменения тока I , записать опытные данные (I, β) в табл. 1, но только со знаком «—» (минус);

г) вновь изменить положение переключателя Pr и увеличивать I до максимального значения β . Опытные данные записать в табл. 1.

5. Снять опытные данные для кривой намагничивания и петли гистерезиса образца 2, для чего:

а) сменить образец, предварительно обесточив электрическую цепь;

б) опыт производить в том же порядке, какой указан в п. 4.

По опытным данным на миллиметровой бумаге в одной системе координат (β, I) построить кривые намагничивания и петли гистерезиса для двух образцов, используя при этом один и тот же масштаб.

По полученным кривым определить графически и сравнить:

1) максимальные значения величин магнитной индукции:

$$B_{\text{макс}_1}, B_{\text{макс}_2}, \frac{B_{\text{макс}_1}}{B_{\text{макс}_2}};$$

2) величины магнитной индукции, характеризующие остаточный магнетизм:

$$B_{\text{ост}_1}; B_{\text{ост}_2}; \frac{B_{\text{ост}_1}}{B_{\text{ост}_2}};$$

3) значения напряженностей магнитного поля, при которых образцы были полностью размагничены:

$$H_{\text{зад}_1}; H_{\text{зад}_2}; \frac{H_{\text{зад}_1}}{H_{\text{зад}_2}};$$

4) сравнить площади, ограниченные петлями гистерезиса для образцов 1 и 2 (разницу площадей заштриховать).

В отчете сделать вывод, какой образец изготовлен из магнитомягкого материала, а какой — из магнитотвердого.

Пояснить, что характеризует площадь петли гистерезиса.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Цель. Исследовать свойства цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии переменного тока с $U=127$ в 1
2. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а 1
3. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—150 в 1
4. Ваттметр переменного тока с пределом измерения 0—750 вт 1
5. Реостат ($R=24$ ом; $I=3$ а) 1
6. Катушка индуктивности секционного типа 1

Рассмотрим свойства цепи переменного тока, состоящей из катушки самоиндукции, обладающей индуктивностью L , активным сопротивлением r_k , и реостата с активным сопротивлением r . Для нашего исследования возьмем катушку самоиндукции такой, чтобы ее r_k было много меньше r реостата. Это позволит, во-первых, при расчетах

пренебречь значением r_k и, во-вторых, представить эквивалентную схему цепи такой, какой она изображена на рис. 34.

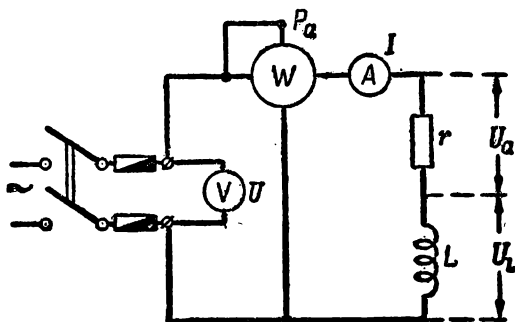


Рис. 34. Цепь переменного тока с последовательно соединенными активным сопротивлением r и индуктивностью L

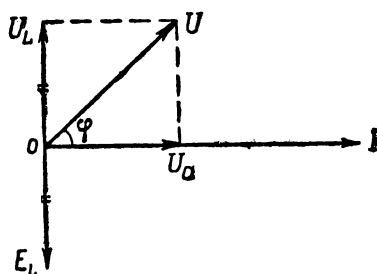


Рис. 35. Векторная диаграмма тока и напряжений, построенная для исследуемой цепи с r и L

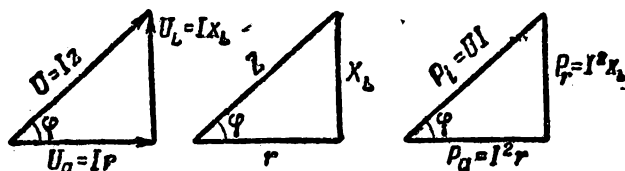


Рис. 36. Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей

Векторная диаграмма, построенная для исследуемой цепи, и полученные из нее треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей (рис. 35 и 36) дают возможность

получить все математические соотношения между электрическими величинами.

Полученные уравнения приведены в табл. I.

Таблица I

Уравнения, полученные из треугольника напряжений	Уравнения, полученные из треугольника сопротивлений	Уравнения, полученные из треугольника мощностей
$U^2 = U_a^2 + U_L^2; \quad (11.1)$	$z^2 = r^2 + x_L^2; \quad (11.7)$	$P_i^2 = P_a^2 + P_r^2; \quad (11.12)$
$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}; \quad (11.2)$	$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}; \quad (11.8)$	$P_i = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}; \quad (11.13)$
$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}; \quad (11.3)$	$\cos \varphi = \frac{r}{z}; \quad (11.9)$	$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_i}; \quad (11.14)$
$U = Iz. \quad (11.4)$	$\cos \varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + x_L^2}}; \quad (11.10)$	$P_a = P_i \cos \varphi; \quad (11.15)$
$U_a = Ir; \quad (11.5)$	$X_L = 2\pi fL. \quad (11.11)$	$P_a = UI \cos \varphi; \quad (11.16)$
$U_L = IX_L. \quad (11.6)$		$P_r = UI \sin \varphi; \quad (11.17)$
		$P_a = P_r = IU_a; \quad (11.18)$
		$P_r = P_{X_L} = IU_L. \quad (11.19)$

Закон Ома будет иметь вид

$$I = \frac{U}{Z} \quad (11.20)$$

или

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_L^2}}, \quad (11.21)$$

где в формулах с (11.1) по (11.21)

U, U_a, U_L — напряжение на зажимах цепи и падения напряжений на отдельных сопротивлениях, v ;

I — ток в цепи, a ;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности;

z, r, x_L — полное сопротивление, активное и индуктивное сопротивление, $ом$;

L — индуктивность катушки, $гн$;

f — частота переменного тока, $гц$;

P_i, P_a, P_r — полная, $ва$; активная, $вт$; реактивная, $вар$, мощности.

Из формул (11.1), (11.7), (11.12) следует, что U , Z и P_i равны геометрической сумме соответствующих электрических величин.

Из векторной диаграммы (рис. 35) видно, что в такой цепи возникает положительный сдвиг фаз φ , т. е. напряжение U на зажимах цепи опережает по фазе ток I . Численное значение φ определяется соотношением активного r и индуктивного X_L сопротивлений. Исследуя формулу (11.10), можно сделать вывод, что угол сдвига фаз φ меняется в пределах от 0 до $+\frac{\pi}{2}$, не принимая при этом крайних значений:

$$0 < \varphi < +\frac{\pi}{2},$$

так как при любых изменениях r и L в цепи одновременно присутствуют как активное r , так и индуктивное X_L сопротивления. Следовательно, учитывая, что мгновенное значение тока i , изменяющееся по закону синуса, отстает от напряжения u , приложенного к цепи, на φ , можно определить и закон изменения мгновенной мощности:

$$i = I_m \sin \omega t; \quad (11.22)$$

$$u = U_m \sin (\omega t + \varphi); \quad (11.23)$$

$$p = iu = I_m \sin \omega t \sin (\omega t + \varphi). \quad (11.24)$$

На рис. 37 приведены все три графика, определяющие, как изменяются мгновенные значения i , u , p с течением времени t .

Уравнения (11.24) и, следовательно, график мощности p показывают, что изменения мощности с течением времени t происходят в отличие от i и u не по синусоидальному закону.

Известно, что заштрихованные площадки, ограниченные кривой мощности p и осью времени t , пропорциональны энергии. Площадки, расположенные выше оси времени, пропорциональны положительной энергии W , т. е. той энергии, которая поступает за определенный интервал времени от генератора в цепь. Часть этой энергии W расходуется на активном сопротивлении r , превращаясь в тепловую энергию W_a (безвозвратные потери), а остальная часть за-

пасается в виде энергии магнитного поля W_M катушки индуктивности (реактивная энергия):

$$W = W_a + W_M. \quad (11.25)$$

Площадки, расположенные ниже оси времени t , пропорциональны отрицательной энергии, т. е. энергии W_M , которая возвращается

цепью генератору. Если взять разность площадоk, расположенных по обе стороны оси времени, то мы получим площадку, пропорциональную той энергии W_a , которая за один период расходуется на активном сопротивлении r :

$$W_a = W - W_M. \quad (11.26)$$

Электрическими величинами (параметрами), характеризующими цепь, являются активное сопротивление

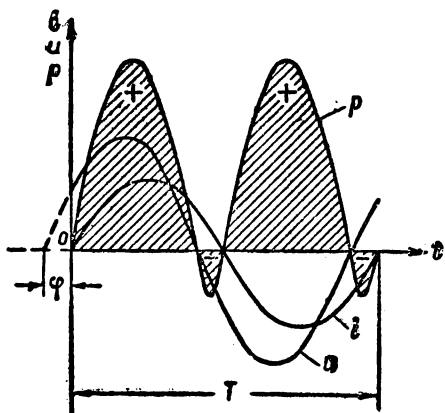


Рис. 37. Графики, иллюстрирующие физические процессы в цепи с r и L

реостата r и индуктивность L катушки.

Чтобы расчетом определить Z , r и L , необходимо из опыта определить: напряжение на зажимах цепи U , ток I , падение напряжения U_a , U_L на r и X_L , а также частоту f переменного тока. Используя формулы (11.4), (11.5) и (11.6), получим:

$$Z = \frac{U}{I}; \quad (11.27)$$

$$r \cong \frac{U_a}{I}; \quad (11.28)$$

$$X_L = \frac{U_L}{I}. \quad (11.29)$$

Более точный результат для определения активного сопротивления r цепи (с учетом активного сопротивления r_k катушки) получим, если воспользуемся показанием ватт-

метра, который фиксирует всю активную мощность P_a , затрачиваемую в цепи.

Из формулы (11.18) следует, что

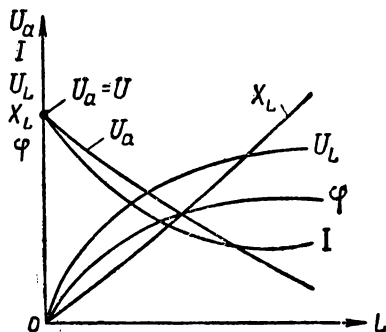
$$r = \frac{P_a}{I^2}. \quad (11.30)$$

Чтобы определить L , воспользуемся формулой (11.11), предварительно рассчитав по формуле (11.29) значение X_L :

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}. \quad (11.31)$$

Следует помнить, что параметры r_k и L катушки без ферромагнитного сердечника и катушки с неферромагнитным сердечником не зависят от величины тока I в ее обмотке.

Рассмотрим, как зависят I , U_a , U_L и $\cos \varphi$ от величины индуктивности катушки L . При увеличении L реактивное сопротивление X_L увеличивается, следовательно, возрастает Z , а ток I в цепи уменьшается (11.8), (11.11), (11.21). С уменьшением величины тока I уменьшается и падение напряжения на активном сопротивлении $U_a = Ir$, что приводит к увеличению напряжения на индуктивном сопротивлении:



$$U_L = \sqrt{U^2 - U_a^2}. \quad (11.32)$$

Как уже было сказано выше, величина угла сдвига фаз φ зависит от соотношения активного r и индуктивного X_L сопротивлений. Если, например, увеличивать индуктивность L катушки, то одновременно с ростом индуктивного сопротивления X_L будет возрастать и численное значение угла сдвига фаз φ (11.10), (11.11). Графики зависимости I ; U_L ; U_a ; $\varphi = F(L)$ приведены на рис. 38. Аналогичные изменения I , U_a , U_L и φ будут наблюдаться и при изменении частоты f переменного тока.

Рис. 38. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения тока I , падения напряжений U_a , U_L , индуктивного сопротивления X_L и угла сдвига фаз φ при изменении индуктивности L катушки

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рис. 39, включить полностью секционную катушку L и поставить ползунок реостата в положение a (реостат полностью введен). Включить рубильник и снять следующие опытные данные: U , I , U_a , U_L , P_a .

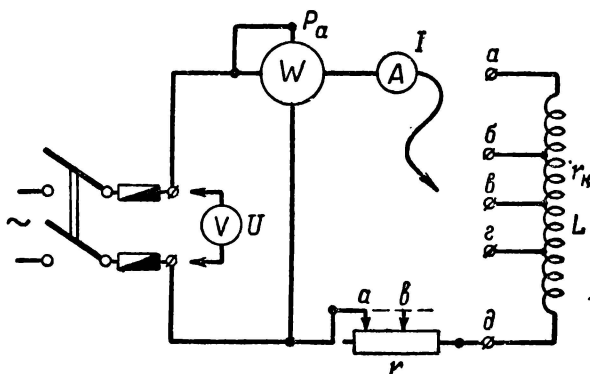


Рис. 39. Схема исследуемой цепи переменного тока с последовательно включенными реостатом и секционной катушкой индуктивности

Расчетом определить: Z , r , X_L , L , $\cos \varphi$, φ , P_i , P_r , считая, что частота f переменного тока задана.

Проделать то же самое, поставив ползунок реостата в положение b . Результаты измерений и вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

Наблюдения					Вычисления									
U , в	I , а	U_a , в	U_L , в	P_a , вт	Z , ом	$r = \frac{U_a}{I}$, ом	$P_i = \frac{P_a}{I^2}$, ом	X_L , ом	L , гн	$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$, в	$\cos \varphi$	φ , град	P_i , ва	P_r , вар

По данным табл. 2 для одного из случаев, указанных выше, построить векторную диаграмму, треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей.

Сравнить результаты вычислений активного сопротивления r , определенного по формулам (11.28) и (11.30), и определить ошибку в расчетах.

2. Используя ту же схему, но поставив ползунок реостата в положение ϑ , поочередно включая в цепь различные секции катушки ($\partial\vartheta$, $\partial\vartheta$, $\partial\delta$, ∂a), измерить значения U , I , U_a , U_L и по этим данным рассчитать X_L , L , $\cos \varphi$, φ .

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 3.

Таблица 3

Секции катушки, выключенные под напряжение	Наблюдения				Вычислений			
	$U,$ ϑ	$I,$ a	$U_a,$ ϑ	$U_L,$ ϑ	$X_L,$ ом	$L,$ гн	$\cos \varphi$	$\varphi,$ град
($\partial\vartheta$)								
($\partial\vartheta$)								
($\partial\delta$)								
(∂a)								

Пользуясь данными опыта, построить в масштабе графики зависимостей I ; U_a ; U_L ; $\varphi = F(L)$ и объяснить характер изменения их с увеличением или уменьшением L .

3. В отчете по практической работе, пользуясь опытными данными табл. 2, также построить развернутую диаграмму u ; i ; $p = f(t)$, предварительно определив по заданной частоте f период T , а по действующим значениям электрических величин амплитудные значения напряжения U_m и тока I_m .

Определить, как будет меняться положение графика мощности $p = f(t)$, если увеличить или уменьшить L , не изменяя при этом r .

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ЕМКОСТЬЮ

Цель. Опытным путем проверить основные свойства цепи переменного тока с активным сопротивлением и емкостью.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии переменного тока с $U = \sim 127$ в
2. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а 1
3. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—50 в 1
4. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—150 в 1
5. Магазин емкостей ($C = 0,1 \div 40$ мкф) 1
6. Реостат ($R = 120$ ом; $I = 2,45$ а) 1

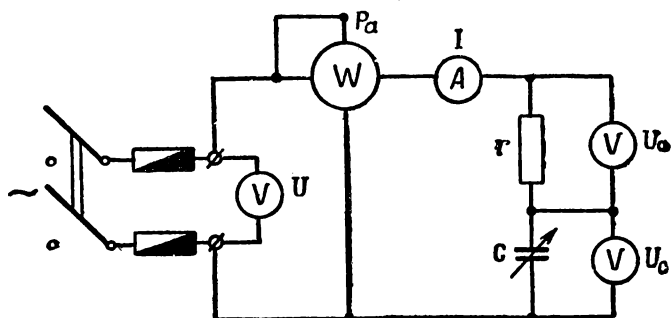


Рис. 40. Схема исследуемой цепи переменного тока с последовательно включенными постоянным сопротивлением r и магазином емкостей C

Рассмотрим свойства цепи переменного тока, состоящей из активного сопротивления r и конденсатора, обладающего емкостью C (рис. 40). Учитывая, что величина активного сопротивления r во

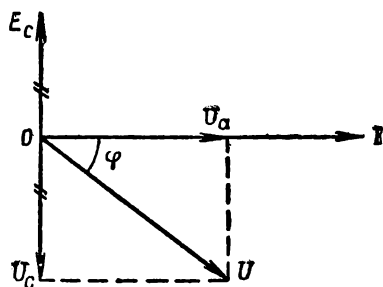


Рис. 41. Векторная диаграмма тока и напряжений для цепи переменного тока с последовательно включенными активным сопротивлением r и емкостью C

много раз больше активного сопротивления конденсатора r_c , последним пренебрегаем, что практически не скажется на конечных расчетных результатах.

Векторная диаграмма и полученные из нее треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей (рис. 41 и 42), построенные для исследуемой цепи, позволяют

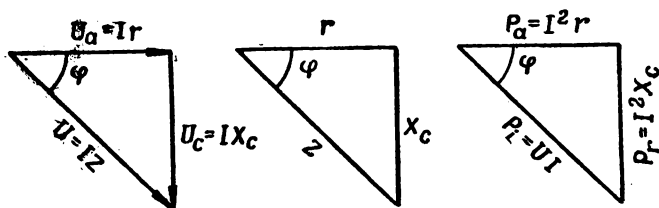


Рис. 42. Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей

получить все расчетные уравнения, которые и определяют основные свойства цепи.

Полученные уравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уравнения, полученные из треугольника напряжений	Уравнения, полученные из треугольника сопротивлений	Уравнения, полученные из треугольника мощностей
$U^2 = U_a^2 + U_c^2$; (12.1)	$z^2 = r^2 + x_c^2$; (12.7)	$P_l^2 = P_a^2 + P_r^2$; (12.12)
$U = \sqrt{U_a^2 + U_c^2}$; (12.2)	$z = \sqrt{r^2 + x_c^2}$; (12.8)	$P_l = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}$; (12.13)
$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}$; (12.3)	$\cos \varphi = \frac{r}{z}$; (12.9)	$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_l}$; (12.14)
$U = Iz$; (12.4)	$\cos \varphi = \frac{r}{\sqrt{r^2 + x_c^2}}$; (12.10)	$P_a = P_l \cos \varphi$; (12.15)
$U_a = Ir$; (12.5)	$x_c = \frac{1}{2\pi f c}$; (12.11)	$P_a = UI \cos \varphi$; (12.16)
$U_c = Ix_c$; (12.6)		$P_r = UI \sin \varphi$; (12.17)
		$P_a = U_a I = P_r$; (12.18)
		$P_r = U_c I = P_c$; (12.19)

Закон Ома будет иметь вид

$$I = \frac{U}{Z} \quad (12.20)$$

или

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_c^2}}, \quad (12.21)$$

где U, U_a, U_c — напряжения на зажимах цепи и падения напряжения на отдельных сопротивлениях, в ;

I — ток в цепи, а ;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности;

z, r, x_c — полное сопротивление, активное и емкостное, ом ;

C — емкость конденсатора, ф ;

f — частота переменного тока, гц ;

P_i, P_a, P_r — полная, ва ; активная, вт ; реактивная, вар , мощности.

Из формул (12.1), (12.7), (12.12) следует, что U, z и P_i равны геометрической сумме соответствующих электрических величин.

Из векторной диаграммы (рис. 41) видно, что в данной цепи возникает отрицательный сдвиг фаз φ , т. е. напряжение U на зажимах цепи отстает по фазе от тока I .

В зависимости от соотношения активного r и емкостного X_c сопротивлений численные значения угла сдвига фаз φ будут разные, но во всех случаях φ будет меньше 0, но больше $-\frac{\pi}{2}$:

$$0 > \varphi > -\frac{\pi}{2}.$$

Это объясняется тем, что, как бы мы не изменяли значения r и C , в цепи одновременно есть как активное r , так и емкостное X_c сопротивления.

Учитывая, что мгновенное значение напряжения u , приложенного к зажимам цепи, изменяется по закону синуса, а ток i опережает по фазе напряжение u на φ , можно определить закон изменения мгновенной мощности p :

$$u = U_m \sin \omega t; \quad (12.22)$$

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi); \quad (12.23)$$

$$p = u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t + \varphi). \quad (12.24)$$

На рис. 43 приведены три графика, определяющие, как изменяются мгновенные значения i, u, p с течением времени t .

Анализируя уравнение (12.24) и график мощности p , видим, что закон изменения мгновенной мощности с течением времени является несинусоидальной величиной. Как

известно, заштрихованные площадки, ограниченные кривой мощности p и осью времени t , пропорциональны энергии.

Энергия W , которая поступает за отрезок времени t от генератора в цепь, определяется площадками, расположенными выше оси времени. Часть ее расходуется на активном сопротивлении W_a (безвозвратные потери, так как эта

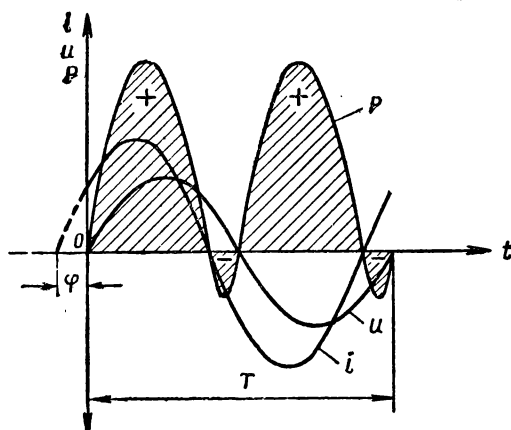


Рис. 43. Графики, иллюстрирующие физические процессы в цепи с r и C

часть энергии переходит в тепловую энергию), а оставшаяся часть запасается в виде энергии электрического поля конденсатора W_0 (реактивная энергия):

$$W = W_a + W_0. \quad (12.25)$$

В свою очередь цепь возвращает реактивную энергию W_0 генератору. Эта энергия определяется площадкой, расположенной ниже оси времени t .

Чтобы определить энергию, которая расходуется на активном сопротивлении за период T , достаточно взять разность площадок, расположенных по обе стороны оси времени t :

$$W_a = W - W_0. \quad (12.26)$$

Следует помнить, что ваттметр, включенный в цепь, фиксирует активную мощность P_a , которая расходуется на активном сопротивлении r . Нетрудно понять, что положе-

ние графика мощности p относительно оси времени t будет зависеть от соотношения r и C , или, иначе, от значения угла сдвига фаз φ .

Рассмотрим, как зависят I , U_a , U_c и φ от изменения одного из параметров цепи r или C . Будем, например, изменять емкость C конденсатора в предположении, что

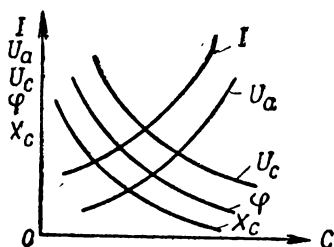


Рис. 44. Графики, иллюстрирующие изменения тока I , напряжений U_a , U_c , емкостного сопротивления X_c и угла сдвига фаз φ при изменении емкости C конденсатора

второй параметр — активное сопротивление r — остается при этом неизменным.

При увеличении емкости C конденсатора емкостное сопротивление X_c уменьшается (12.11), следовательно, уменьшается и полное сопротивление цепи Z (12.8), а величина тока I в цепи при этом возрастает (12.21).

В свою очередь с увеличением тока I в цепи возрастает падение напряжения U_a на активном сопротивлении r (12.5), что приводит к уменьшению

падения напряжения U_c на емкостном сопротивлении X_c .

Это нетрудно заметить, если использовать уравнение (12.1) и решить его относительно U_c :

$$U_c = \sqrt{U^2 - U_a^2}. \quad (12.27)$$

Что же касается угла сдвига фаз φ , то с ростом C уменьшается значение емкостного сопротивления X_c , что приводит к увеличению коэффициента мощности $\cos \varphi$, а следовательно, к уменьшению φ (12.10).

Графики зависимостей I ; U_a ; U_c ; φ ; $X_c = F(C)$ приведены на рис. 44.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 40.
2. Изменяя величину емкости с батареи конденсаторов, измерить I , U_a , U_c , U , P_a и занести значения вышеуказанных величин в табл. 2. Снять 6—7 показаний. Предел изменения емкости батареи конденсаторов указывает преподаватель.

3. Пользуясь данными опыта, вычислить величины: U , r_1 , X_c , Z , φ , P_i , P_r и результаты вычислений внести в табл. 2.

Таблица 2

Наблюдения						Вычисления							
C , мкф	I , а	$U_{a'}$, в	$U_{c'}$, в	U , в	$P_{a'}$, вт	U , в	$r = \frac{P_a}{I^2}$, ом	X_c , ом	Z , ом	$\cos \varphi$	φ , град	P_i , ва	P_r , вар

4. По данным таблицы построить:

а) векторную диаграмму, треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей для одного из измерений;

б) графики зависимостей:

$$I = f(z); U_a = f(C); X_c = f(C); \varphi = f(C).$$

Объяснить характер изменения вышеуказанных величин в зависимости от изменения емкости.

5. В отчете по практической работе дать краткую характеристику исследуемой цепи.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ, ЕМКОСТЬЮ И ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Цель. Пользуясь опытными данными, практически проверить расчетные уравнения для цепи переменного тока с последовательно включенными r , C , L для двух режимов ее работы, если $X_L > X_c$ и $X_L < X_c$.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии переменного тока с $U \sim 127$ в 1
2. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а 1
3. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—300 в 3
4. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—75 в 1

- | | |
|--|---|
| 5. Реостат ($R=120 \text{ ом}$; $I=2,4 \text{ а}$) | 1 |
| 6. Катушка индуктивности ($L=1 \text{ гн}$, $r=10 \text{ м}$) | 1 |
| 7. Магазин емкостей ($C=0,1 \div 40 \text{ мкф}$) | 1 |
| 8. Ваттметр астатический с пределом измерения
0—750 вт | 1 |

В цепи переменного тока с последовательно включенными активным сопротивлением r , емкостью C и индуктивностью L (рис. 45) возможны три режима работы цепи.

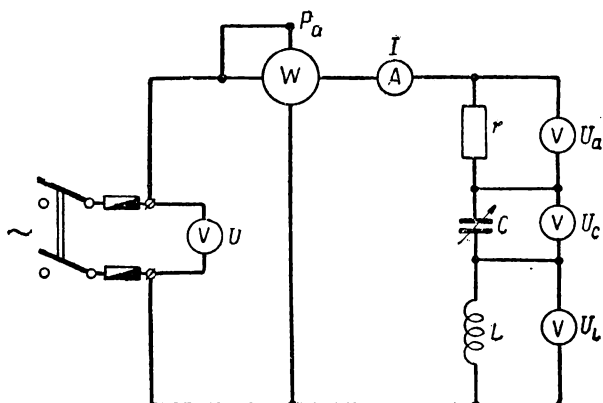


Рис. 45. Схема исследуемой цепи переменного тока с последовательно включенными активным сопротивлением r , емкостью C и индуктивностью L

Условием возникновения того или иного режима работы цепи является определенное соотношение между емкостным X_c и индуктивным X_L сопротивлениями при данном значении активного сопротивления r .

Первый режим работы цепи может быть получен, если $X_L > X_c$.

В этом случае цепь будет носить индуктивный характер, т. е. угол сдвига фаз φ между напряжением U , приложенным к зажимам цепи, и током I будет положительным (напряжение U опережает по фазе ток I в цепи). В зависимости от соотношения сопротивлений r , X_L и X_c угол сдвига фаз φ будет меняться в пределах от нуля до $\frac{\pi}{2}$, не принимая крайних значений:

$$0 < \varphi < \frac{\pi}{2}.$$

Если окажется, что $X_L < X_C$ (что соответствует второму режиму работы цепи), то цепь будет носить емкостный характер, т. е. φ примет отрицательное значение (ток I опережает по фазе напряжение U).

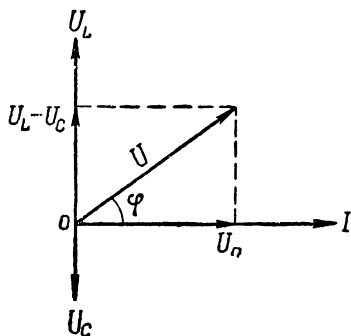


Рис. 46. Векторная диаграмма тока и напряжений для случая $X_L > X_C$

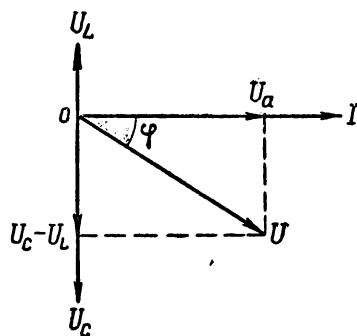


Рис. 47. Векторная диаграмма тока и напряжений для случая $X_L < X_C$

Как и при первом режиме, φ может изменяться только в определенных пределах, не принимая крайних значений. Этими пределами будут 0 и $-\frac{\pi}{2}$:

$$0 > \varphi > -\frac{\pi}{2}.$$

Третий режим, при котором $X_L = X_C$, а $\varphi = 0$ (ток I и напряжение U совпадают по фазе), получил особое название — резонанса напряжений. Этот режим работы цепи будет исследован в работе № 14.

Векторные диаграммы для первых двух режимов (когда $X_L > X_C$ и $X_L < X_C$) показаны на рис. 46 и 47. Мате-

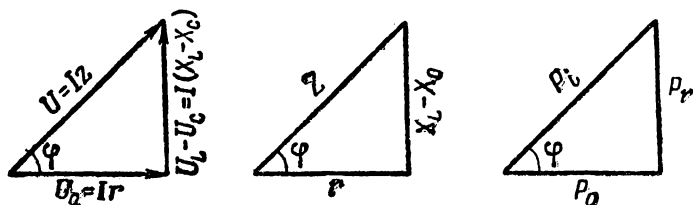


Рис. 48. Треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей для случая $X_L > X_C$

матические соотношения между электрическими величинами для рассматриваемых случаев, например, когда $X_L > X_C$, можно получить, если использовать треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей (рис. 48). Полученные уравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уравнения, полученные из треугольника напряжений	Уравнения, полученные из треугольника сопротивлений	Уравнения, полученные из треугольника мощностей
$U^2 = U_a^2 + (U_L - U_C)^2; \quad (13.1)$	$Z^2 = r^2 + (X_L - X_C)^2; \quad (13.7)$	$P_i^2 = P_a^2 + P_r^2; \quad (13.12)$
$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}; \quad (13.2)$	$Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}; \quad (13.8)$	$P_i = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}; \quad (13.13)$
$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}; \quad (13.3)$	$\cos \varphi = \frac{r}{Z}; \quad (13.9)$	$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_i}; \quad (13.14)$
$U_a = Ir; \quad (13.4)$	$X_L = 2\pi fL; \quad (13.10)$	$P_i = UI; \quad (13.15)$
$U_L = IX_L; \quad (13.5)$	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}; \quad (13.11)$	$P_a = P_i \cos \varphi; \quad (13.16)$
$U_C = IX_C; \quad (13.6)$		$P_a = UI \cos \varphi; \quad (13.17)$
		$P_r = UI \sin \varphi. \quad (13.18)$

Закон Ома будет иметь вид

$$I = \frac{U}{Z} \quad (13.19)$$

или

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2}}, \quad (13.20)$$

где U, U_a, U_L, U_C — напряжения на зажимах цепи и падения напряжения на отдельных сопротивлениях, φ ;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности;

Z, r, X_L, X_C — полное сопротивление цепи, активное, индуктивное и емкостное сопротивления, Ω ;

f — частота переменного тока, Гц ;

P_i, P_a, P_r — полная, Вт ; активная, Вт ; реактивная, вар , мощности;

L — индуктивность, Гн ;

C — емкость, Ф .

Нетрудно видеть, что все уравнения (13.1) — (13.20) справедливы и для случая $X_L < X_C$, так как выражения

$$(U_L - U_C)^2 = (U_C - U_L)^2$$

и

$$(X_L - X_C)^2 = (X_C - X_L)^2$$

равнозначны, однако при вычислении φ (в данном случае) его значение следует брать со знаком «—» (минус).

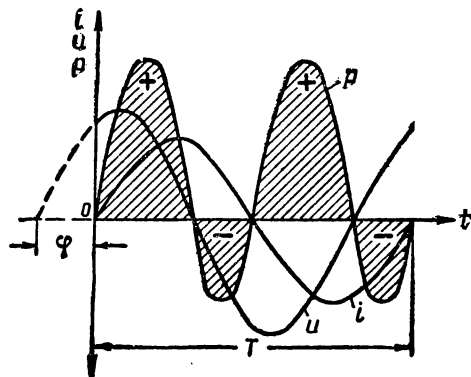


Рис. 49. Графики, иллюстрирующие физические процессы в цепи переменного тока с r, C, L при $X_L > X_C$

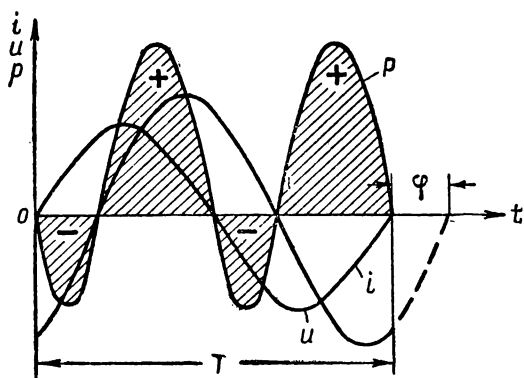


Рис. 50. Графики, иллюстрирующие физические процессы в цепи переменного тока с r, C, L при $X_L < X_C$

Колебания энергии в данной цепи будут определяться графиками мощности $p = f(t)$, которые изображены на рис. 49 и 50. Следует помнить, что ваттметр фиксирует

активную мощность P_a , расходуемую на активное сопротивление r . Часть энергии, поступающей от источника электрической энергии в цепь, в обоих случаях расходуется безвозвратно на активном сопротивлении r (переходит в тепловую энергию), а оставшаяся часть запасается в виде энергии W_m магнитного поля и энергии $W_э$ электрического поля конденсатора:

$$W_m = \frac{LI_m^2}{2}; \quad (13.21)$$

$$W_э = \frac{CU_m^2}{2}, \quad (13.22)$$

где W_m — максимальная энергия магнитного поля катушки, дж;

$W_э$ — максимальная энергия электрического поля конденсатора, дж;

L — индуктивность катушки, гн;

C — емкость конденсатора, ф;

I_m — амплитудное значение тока, а;

U_m — амплитудное значение напряжения, в.

Учитывая, что измерительные приборы, включенные в цепь, фиксируют действующие значения тока I и напряжения U , амплитудные величины I_m , U_m определяют по следующим уравнениям:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad (13.23)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (13.24)$$

Поскольку в первых двух режимах нет полной компенсации реактивных сопротивлений X_L и X_C , то в зависимости от их численных значений возможны следующие неравенства энергий:

а) $W_m > W_э$, если $X_L > X_C$;

б) $W_m < W_э$, если $X_L < X_C$.

Разность этих энергий ($W_m - W_э$) — та энергия, которая возвращается цепью источнику электрической энергии.

Таким образом, в такой цепи, если $X_L > X_C$ или $X_L < X_C$, возникают колебания реактивной энергии между катушкой индуктивности и конденсатором, а также между источником энергии и цепью.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 45.
2. При данном значении индуктивности L , изменяя значение емкости C по показаниям вольтметров, установить следующее неравенство между падениями напряжений U_L и U_C на сопротивлениях X_L и X_C , $U_L > U_C$.
Данные опыта занести в табл. 2.

Таблица 2

Опытные данные						Примечание
$U,$ $в$	$I,$ $а$	$U_a,$ $в$	$U_L,$ $в$	$U_C,$ $в$	$P_a,$ $вт$	
						} Для случая, когда $X_L > X_C$
						} Для случая, когда $X_L < X_C$

3. Изменяя величину C (при том же L) по показаниям вольтметров, установить второе неравенство падений напряжений U_L и U_C :

$$U_L < U_C.$$

Данные опыта занести в табл. 2.

4. По опытным данным (табл. 2), зная частоту f генератора электрической энергии, определить вычислением электрические величины, указанные в табл. 3, для чего использовать расчетные уравнения (13.1) — (13.24).

Таблица 3

Вычисления															
$U,$ $в$	$r,$ $ом$	$X_L,$ $ом$	$X_C,$ $ом$	$Z,$ $ом$	$I,$ $а$	$C,$ $ф$	$L,$ $гн$	$\cos \varphi$	$\varphi,$ $град$	$P_{I'}$ $ва$	$P_{a'}$ $вт$	$P_{r'}$ $вар$	$W_M,$ $дж$	$W_9,$ $дж$	$(W_M - W_9),$ $дж$

Сравнить опытные данные (U , I , P_a) с вычисленными и пояснить, почему нет их точного совпадения.

5. По опытным данным построить векторные диаграммы, треугольники напряжений, сопротивлений и мощности (в масштабе) для случаев, когда $X_L > X_C$ и $X_L < X_C$. В отчете по практической работе сделать вывод, как влияет изменение величины активного сопротивления r (при определенном значении X_L и X_C) на численную величину φ , разность энергий ($W_m - W_a$) и как при этом изменяется положение графиков $p=f(t)$ относительно оси времени t , изображенных на рис. 49 и 50 (если r будет в одном случае увеличиваться, а в другом уменьшаться).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

Цель. Опытным путем проверить основные свойства цепи при резонансе напряжений.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии переменного тока с $U = 127$ в 1
2. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а 1
3. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—300 в 3
4. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—75 в 1
5. Реостат ($R = 120$ ом; $I = 2,45$ а) 1
6. Катушка индуктивности 1
7. Магазин емкостей ($C = 0,1 \div 40$ мкф) 1

В радиотехнических устройствах важную роль играют колебательные контуры, которые настроены в резонанс. Это позволяет выделить ток определенной частоты и его усилить. В цепях переменного тока различают два вида резонанса — резонанс напряжений и резонанс токов.

Резонансом напряжений в цепи переменного тока, состоящей из последовательно соединенных индуктивности L , емкости C и активного сопротивления r , называют режим, при котором ток I и напряжение U совпадают по фазе.

Схема исследуемой цепи приведена на рис. 51.

Условием возникновения резонанса является равенство реактивных сопротивлений:

$$X_L = X_C. \quad (14.1)$$

Рассмотрим, какими свойствами будет обладать исследуемая цепь при наступлении резонанса.

Следует иметь в виду, что при исследовании данной цепи мы будем пользоваться выводами, которые были изложены в практической работе № 13 — цепь переменного

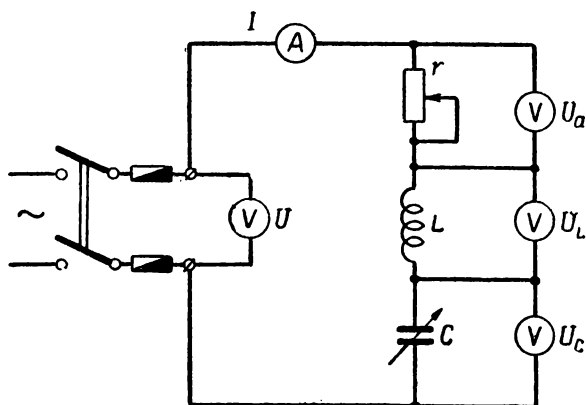


Рис. 51. Схема исследуемой цепи переменного тока с последовательно включенными активным сопротивлением r , индуктивностью L и емкостью C

тока с последовательно включенными активным сопротивлением r , индуктивностью L и емкостью C , — но с учетом того, что она настроена в резонанс.

1. Учитывая, что индуктивное X_L и емкостное X_C сопротивления равны друг другу (14.1), но разные по знаку, возникает их полная взаимная компенсация. Это приводит к тому, что полное сопротивление всей цепи Z принимает наименьшее значение и равно численно активному сопротивлению r :

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{r^2} = r;$$

$$Z_{\text{рез}} = r, \quad (14.2)$$

2. Угол сдвига фаз φ между током I и напряжением U , приложенным к зажимам цепи, равен нулю. Действительно,

$$\cos \varphi = \frac{r}{Z_{\text{рез}}}, \quad (14.3)$$

но $Z_{\text{рез}} = r$, тогда

$$\cos \varphi = \frac{r}{r} = 1, \quad (14.4)$$

следовательно,

$$\varphi = 0. \quad (14.5)$$

Таким образом, если цепь работает в режиме резонанса, то она ведет себя как цепь с активным сопротивлением, т. е. носит активный характер.

3. При резонансе ток в цепи I достигает максимального значения, так как из всех возможных Z наименьшее $Z_{\text{рез}}$:

$$I_{\text{рез}} = \frac{U}{Z_{\text{рез}}} = \frac{U}{r};$$

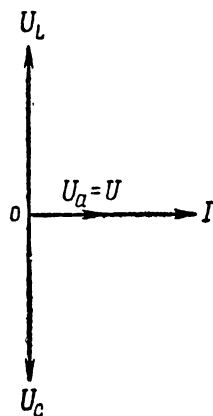
$$I_{\text{рез}} = \frac{U}{r}. \quad (14.6)$$

Максимум тока в цепи $I_{\text{рез}}$ является практическим признаком наступления в цепи резонанса напряжений.

4. Из векторной диаграммы (рис. 52) для цепи, настроенной в резонанс, следует, что напряжение на зажимах цепи U равно падению напряжения U_a на активном сопротивлении r :

$$U = U_a.$$

Рис. 52. Векторная диаграмма тока и напряжений для цепи переменного тока с r, L, C , настроенной в резонанс



Это объясняется тем, что падение напряжения U_L на индуктивном сопротивлении X_L и падение напряжения U_C на емкостном сопротивлении X_C численно равны друг другу, находятся в противофазе и поэтому их геометрическая сумма равна нулю. Действительно,

$$U_L = I_{\text{рез}} X_L; \quad (14.7)$$

$$U_C = I_{\text{рез}} X_C; \quad (14.8)$$

$$|U_L| = |U_C|; \quad (14.9)$$

$$\bar{U}_L + \bar{U}_C = 0 \quad (14.10)$$

или

$$U_L - U_C = 0.$$

Тогда

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{U_a^2} = U_a. \quad (14.11)$$

5. Если X_L и равное ему X_C окажутся каждое в отдельности значительно больше активного сопротивления цепи r (что особенно справедливо для радиотехнических колебательных контуров), то и падение напряжения U_L и U_C , каждое в отдельности, будет значительно больше U_a и, следовательно, значительно больше приложенного к цепи напряжения U .

Если

$$r \ll X_L = X_C,$$

то

$$I_{\text{рез}} r \ll I_{\text{рез}} X_L = I_{\text{рез}} X_C,$$

но так как

$$U = U_a = I_{\text{рез}} r;$$

$$U_L = I_{\text{рез}} X_L;$$

$$U_C = I_{\text{рез}} X_C,$$

то

$$U_a = U \ll |U_L| = |U_C|. \quad (14.12)$$

6. Выигрыш в напряжении будет во столько раз, во сколько индуктивное X_L (или емкостное X_C) сопротивление больше активного сопротивления цепи r :

$$Q = \frac{U_C}{U} = \frac{U_L}{U},$$

но согласно формуле (14.11) $U = U_a$, следовательно,

$$Q = \frac{I_{\text{рез}} X_C}{I_{\text{рез}} r} = \frac{I_{\text{рез}} X_L}{I_{\text{рез}} r},$$

или

$$Q = \frac{X_C}{r} = \frac{X_L}{r}, \quad (14.13)$$

где Q — добротность (качество) контура;
 X_L , X_C — индуктивное и емкостное сопротивления, *ом*;
 r — активное сопротивление цепи, *ом*.

При фиксированных значениях L и C равенство реактивных сопротивлений X_L и X_C может иметь место только при вполне определенном значении частоты тока в цепи. Эту частоту называют резонансной и обозначают $f_{\text{рез}}$. Следовательно, резонанс напряжений в цепи будет тогда, когда

$$2\pi f_{\text{рез}}L = \frac{1}{2\pi f_{\text{рез}}C}, \quad (14.14)$$

откуда

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{4\pi^2 LC},$$

или

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (14.15)$$

Известно, что собственная частота f_0 колебательного контура определяется уравнением (14.16):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (14.16)$$

Сравнивая формулы (14.15) и (14.16), можно сделать вывод, что резонанс напряжений в цепи возникает в том случае, когда частота генератора $f_{\Gamma} = f_{\text{рез}}$ совпадает с собственной частотой f_0 :

$$f_{\text{рез}} = f_0. \quad (14.17)$$

Таким образом, условием возникновения резонанса в колебательном контуре будет равенство реактивных сопротивлений

$$X_L = X_C$$

или равенство частот

$$f_{\text{рез}} = f_0.$$

Настройка цепи в резонанс может быть осуществлена изменением частоты генератора f_{Γ} или изменением параметров контура L и C .

В любом случае настройки контура в резонанс необходимо добиться равенства X_L и X_C или частот f_{Γ} и f_0 (14.1), (14.6).

Что же касается энергетических процессов, происходящих в цепи при резонансе напряжений, то нетрудно показать, что сумма мгновенных значений энергии магнитного

W_M и электрического W_9 полей с течением времени не изменяется, т. е. остается величиной постоянной:

$$W = W_M + W_9 = \text{const.} \quad (14.18)$$

На рис. 53 графически показаны изменения мгновенных значений тока i , напряжений u_L , u_C , энергий W_M и W_9 в зависимости от времени t . В цепи происходит непрерывный переход реактивной энергии из магнитного поля в электрическое и обратно, причем общая энергия W , запасенная в цепи, остается неизменной и с течением времени не требует пополнения от генератора, питающего цепь. Генератор лишь пополняет расход энергии за каждый период колебания на активном сопротивлении цепи r .

Возникновение перенапряжений на элементах цепи X_L и X_C объясняется большим запасом энергии, которую получает цепь от генератора в момент наступления резонанса. Таким образом, цепь, настроенная в резонанс, обладая большим запасом реактивной энергии, одновременно ведет себя, как цепь с чисто активным сопротивлением. При исследовании резонансных явлений важную роль играют резонансные кривые, выражающие зависимость тока I и полного сопротивления цепи Z от частоты f приложенного напряжения (рис. 54а). Нетрудно понять, что, чем меньше активное сопротивление цепи r , тем кривая тока I будет острее и выше, и, наоборот, она будет более пологой и ниже при большем r (рис. 54б). На рис. 54а при помощи условных обозначений r , L и C показано, каков характер эквивалентной нагрузки (контура) при различном соотношении частот:

а) при равенстве частот f_0 и $f_{\text{рез}}$, т. е. при наступлении резонанса, цепь в целом носит активный характер;

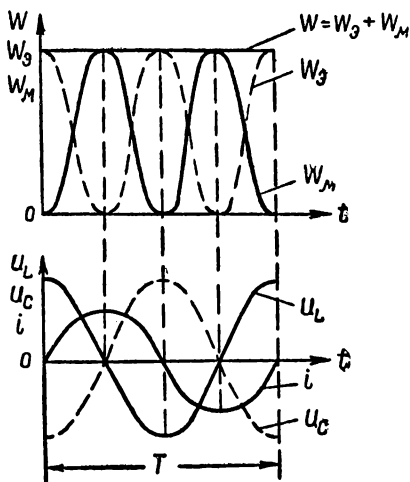


Рис. 53. Графики, иллюстрирующие физические процессы в цепи переменного тока с r , L , C , настроенной в резонанс

б) если $f_{\text{рез}} < f_0$, то цепь будет носить емкостный характер, так как с уменьшением частоты емкостное сопротивление X_C будет больше индуктивного сопротивления X_L :

$$X_C > X_L;$$

$$U_C > U_L;$$

в) если же $f_{\text{рез}} > f_0$, то цепь будет носить индуктивный характер, так как с ростом частоты индуктивное сопротивление X_L будет больше емкостного сопротивления X_C :

$$X_L > X_C;$$

$$U_L > U_C.$$

Как указывалось выше, настройка контура может быть осуществлена не только изменением частоты генератора f_r ,

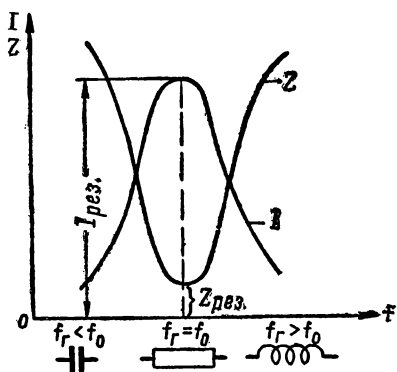


Рис. 54а. Изменения тока I , полного сопротивления Z в цепи переменного тока с r , L , C при изменении частоты f приложенного напряжения U к контуру

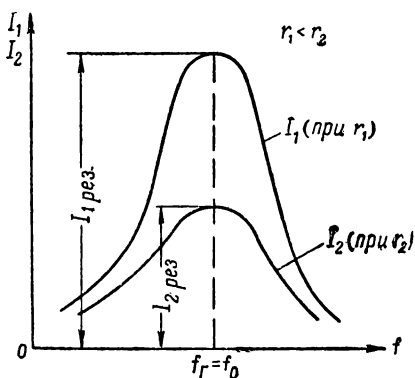


Рис. 54б. Кривые резонанса контуров с различными активными сопротивлениями r_1 и r_2

но и изменением одного из параметров цепи, например емкости C . Численное значение емкости $C_{\text{рез}}$, при котором наступит резонанс напряжений, можно определить, если воспользоваться формулой (14.14) и решить это уравнение относительно $C_{\text{рез}}$:

$$C_{\text{рез}} = \frac{1}{4\pi^2 f_{\text{рез}}^2 L}. \quad (14.19)$$

При этом значении $C_{рез}$ в цепи будет наибольшее значение тока $I_{рез}$ и падения напряжений U_L и U_C .

При увеличении или уменьшении C будет нарушаться условие наступления резонанса, вследствие чего U_L , U_C и I будут уменьшаться. На рис. 55 показан характер изменения падений напряжений U_L и I_C , а также тока I от величины емкости C цепи.

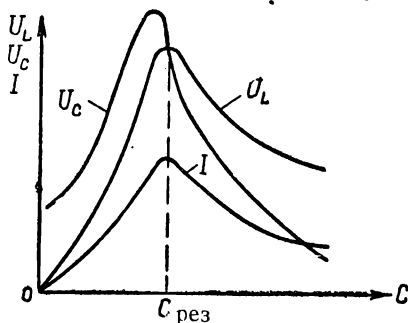


Рис. 55. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения тока I , напряжений U_L , U_C при изменении емкости C конденсатора

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 51.

2. Включить цепь на переменное напряжение и, изменяя емкость конденсатора (батареи конденсаторов), настроить цепь в резонанс по максимуму тока в цепи. Показания всех приборов и значение емкости C записать в табл. 1.

Таблица 1

Наблюдения						Вычисления						Примечание
C , мкф	I , а	U_a , в	U_L , в	U_C , в	U , в	r , ом	X_L , ом	X_C , ом	Z , ом	$\cos \varphi$	φ , град	
												При r_1
												При r_2

3. Изменяя емкость цепи в сторону уменьшения от $C_{рез}$ и увеличения от $C_{рез}$ (пределы изменения емкости C указываются преподавателем) при заданном значении активного сопротивления r_1 , снять показания всех приборов и записать их в табл. 1.

Проделать то же самое, но при другом численном значении активного сопротивления r_2 .

По опытным данным произвести расчет всех величин, указанных в табл. 1.

4. По данным табл. 1 в одной системе координат построить резонансные кривые

$$I=f(C) \text{ и } Z=f(C)$$

для случаев, когда активное сопротивление цепи соответственно равно r_1 и r_2 .

5. В выводах по практической работе указать основные свойства цепи при резонансе напряжений и пояснить, как влияет величина активного сопротивления r на форму резонансной кривой.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15

РЕЗОНАНС ТОКОВ

Цель. Опытным путем проверить основные свойства цепи при резонансе токов.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Источник переменного тока с напряжением $U \approx 127 \text{ в}$ | 1 |
| 2. Амперметр переменного тока с пределом измерения $0-1 \text{ а}$ | 2 |
| 3. Амперметр переменного тока с пределом измерения $0-3 \text{ а}$ | 1 |
| 4. Вольтметр переменного тока с пределом измерения $0-150 \text{ в}$ | 1 |
| 5. Катушка индуктивности | 1 |
| 6. Магазин емкостей ($C=0,1 \div 40 \text{ мкф}$) | 1 |
| 7. Реостат ($R=120 \text{ ом}$; $I=2,45 \text{ а}$) | 1 |

В практической работе № 14 были исследованы свойства цепи при резонансе напряжений. Рассмотрим условия получения резонанса токов, его свойства и способы настройки контура в резонанс.

Резонансом токов называется такой режим цепи переменного тока с параллельным соединением катушки индуктивности и конденсатора, при котором ток I в неразветвленном участке цепи и напряжение U , приложенное к цепи, совпадают по фазе.

Схема исследуемой цепи приведена на рис. 56. Обычно активное сопротивление конденсатора r_C очень мало, по

этому при анализе рассматриваемого режима мы этой величиной будем пренебрегать, т. е. считать равной нулю:

$$r_c \cong 0.$$

Резонанс токов в данной цепи возникает в том случае, если реактивные проводимости индуктивной b_L и емкостной b_C ветвей равны, т. е. когда

$$b_L = b_C. \quad (15.1)$$

Реактивными проводимостями называются расчетные величины, которые в общем случае определяются по следующим формулам:

$$b_L = \frac{X_L}{Z_L^2}; \quad (15.2)$$

$$b_C = \frac{X_C}{Z_C^2}, \quad (15.3)$$

где X_L — индуктивное сопротивление катушки индуктивности, ом;

X_C — емкостное сопротивление конденсатора, ом;

Z_L — полное сопротивление катушки индуктивности, ом;

Z_C — полное сопротивление конденсатора.

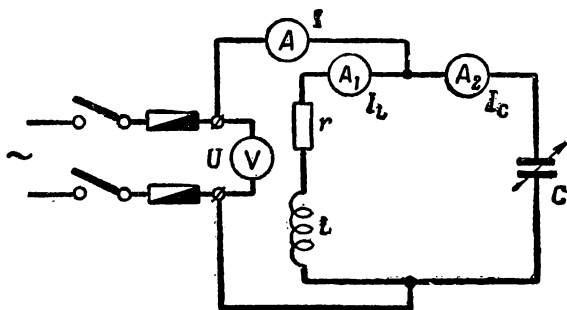


Рис. 56. Электрический контур с параллельным питанием

Так как активное сопротивление конденсатора $r_c \cong 0$, то

$$Z_C = X_C.$$

Обычно для радиотехнических цепей

$$r \ll X_L$$

и тем более

$$r^2 \ll X_L^2.$$

Тогда, пренебрегая величиной r^2 , с достаточной точностью можно считать, что резонанс токов в данной цепи возникает в том случае, когда имеет место равенство реактивных сопротивлений индуктивной и емкостной ветвей, т. е. когда

$$X_L = X_C. \quad (15.4)$$

При заданных значениях L и C равенство $X_L = X_C$ может иметь место только при вполне определенном значении частоты тока в цепи. Эту частоту называют резонансной и обозначают $f_{\text{рез}}$.

Следовательно, резонанс токов в цепи будет иметь место, когда

$$2\pi f_{\text{рез}} L = \frac{1}{2\pi f_{\text{рез}} C}, \quad (15.5)$$

откуда

$$f_{\text{рез}}^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

и

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (15.6)$$

Известно, что собственная частота колебаний контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (15.7)$$

Сравнивая последние две формулы, можно сделать вывод, что резонанс токов в рассматриваемой цепи возникает в том случае, когда частота генератора совпадает с собственной частотой колебаний контура, т. е. когда

$$f_{\text{рез}} = f_0. \quad (15.8)$$

Итак, условиями получения резонанса токов являются равенства:

$$\begin{aligned} b_L &= b_C, \\ X_L &\cong X_C \end{aligned}$$

или

$$f_{\text{рез}} = f_0.$$

Настройка цепи в резонанс может быть осуществлена изменением частоты генератора или изменением параметров контура L или C . Векторная диаграмма для исследуемой цепи при резонансе токов приведена на рис. 57.

Из анализа векторной диаграммы следует, что при резонансе токов:

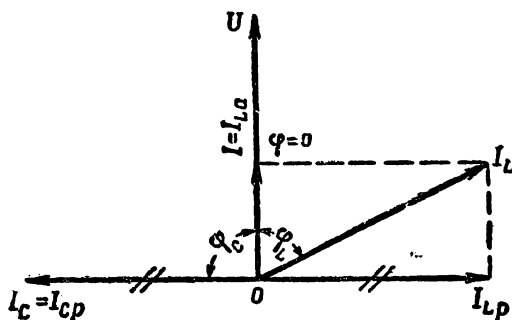


Рис. 57. Векторная диаграмма токов и напряжения для контура, настроенного в резонанс

1) Цепь носит активный характер, так как угол сдвига фаз φ между приложенным к цепи напряжением U и током в неразветвленном участке цепи I равен нулю ($\varphi=0$).

2) Реактивные составляющие токов в ветвях I_{Lp} и I_{Cr} равны и, будучи в противофазе, образуют колебательный ток I_k контура:

$$I_k = I_{Lp} = I_{Cr}.$$

3) Ток в неразветвленном участке цепи I минимальный и равен активной составляющей тока индуктивной ветви I_{La}

$$I = I_{La}. \quad (15.9)$$

Минимум тока I в неразветвленном участке цепи является признаком наступления резонансного состояния.

4) Эквивалентное сопротивление контура $Z_{рез}$ максимальное (поскольку ток минимальный).

5) Если реактивные сопротивления X_L и X_C значительно больше активного сопротивления r , то колебательный ток в контуре I_k значительно больше тока в неразветвленном участке цепи I :

$$I_k \gg I.$$

При исследовании резонансных явлений важную роль играют резонансные кривые, выражающие зависимость тока в неразветвленном участке цепи I , тока в индуктивной ветви I_L , тока в емкостной ветви I_C и полного сопротивления цепи Z от частоты f приложенного напряжения U , от индуктивности L или емкости C цепи.

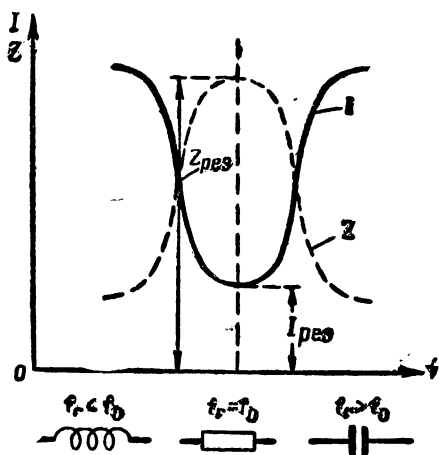


Рис. 58. Изменения тока I и полного сопротивления цепи Z при изменении частоты f приложенного напряжения U к контуру

На рис. 58 приведены только две резонансные кривые $I = F(f)$ и $Z = F(f)$ при условии, что действующее значение приложенного к цепи напряжения U — величина постоянная.

Резонансные кривые широко используются в радиотехнике для оценки радиотехнических колебательных контуров.

На резонансной кривой при помощи условных обозначений активного сопротивления, индуктивности и емкости показано, какой характер носит эквивалентная нагрузка (контур) при резонансе ($f = f_{\text{рез}}$), когда частота генератора меньше резонансной ($f < f_{\text{рез}}$) и когда частота генератора больше резонансной ($f > f_{\text{рез}}$).

Эквивалентное сопротивление контура при резонансе (резонансное сопротивление контура) $Z_{\text{рез}}$ приближенно, но с достаточной степенью точности можно определять по следующим формулам:

$$Z_{\text{рез}} = \frac{Z_L^2}{r}; \quad (15.10)$$

$$Z_{\text{рез}} = \frac{X_L^2}{r} \quad (15.11)$$

или

$$Z_{\text{рез}} = \frac{L}{Cr}. \quad (15.12)$$

В отличие от резонанса напряжений при резонансе токов сумма энергии электрического W_e и магнитного полей W_m контура не является постоянной величиной:

Это значит, что имеются такие промежутки времени, когда энергия электрического и магнитного полей контура расходуется частично или полностью в активном сопротивлении контура, и, следовательно, имеются такие промежутки времени, когда генератор электрической энергии пополняет запас энергии, израсходованной электрическим и магнитными полями контура, при этом возврата энергии источнику не будет.

Генератор в общей сложности за период доставляет в контур такое количество энергии, которое было израсходовано в активном сопротивлении контура.

1. Собрать цепь согласно рис. 56.

2. Изменяя емкость C контура, настроить цепь в резонанс по минимуму тока I в неразветвленной части цепи. Показания всех приборов записать в табл. 1.

[illegible]

3. Изменяя емкость C контура в сторону уменьшения от $C_{рез}$ и в сторону увеличения от $C_{рез}$ (пределы изменения емкости указываются преподавателем), снять показания всех приборов и записать в табл. 1. Произвести расчет всех величин, указанных в табл. 1.

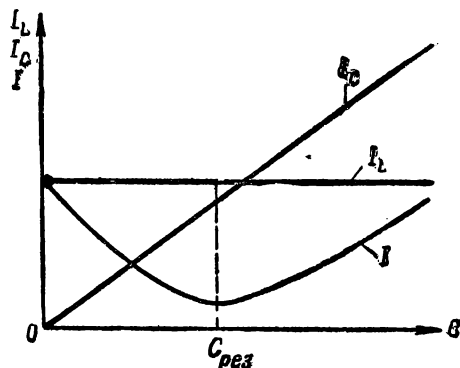


Рис. 59. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения токов в неразветвленной части цепи I и в ветвях контура I_C, I_L при изменении емкости C конденсатора

4. По результатам опытных и расчетных данных построить векторную диаграмму для случая резонанса токов и графики $I_L=f(C)$; $I_C=f(C)$; $I=f(C)$ в одной системе координат. Примерный вид графиков приведен на рис. 59.

5. В выводах указать основные свойства цепи при резонансе токов и пояснить, как влияет активное сопротивление контура на величину тока в неразветвленной части цепи.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СХЕМУ «ЗВЕЗДА» И В СХЕМУ «ТРЕУГОЛЬНИК»

Цель. Практически проверить основные свойства трехфазной системы при соединении потребителей электрической энергии в схему «звезда» и в схему «треугольник».

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник электрической энергии трехфазного тока | 1 |
| 2. Амперметр переменного тока с пределом измерения
0—1 а | 3 |
| 3. Амперметр переменного тока с пределом измерения
0—3 а | 1 |
| 4. Амперметр переменного тока с пределом измерения
0—5 а | 1 |
| 5. Вольтметр переменного тока с пределом измерения
0—300 в | 1 |
| 6. Реостат ($R=120$ ом; $I=5$ а) или ламповый реостат | 3 |
| 7. Лампа ($P=96$ вт; $U=220$ в) | 2 |
| 8. Конденсатор ($C=3$ мкф) | 1 |

В электропитающих установках связи исключительно широко используется трехфазная система, которая по сравнению с однофазными цепями обладает значительной экономичностью и техническим совершенством. Электрически связанные трехфазные системы могут быть соединены в схему «звезда» или в схему «треугольник». Такие соединения применяются как для потребителей электрической энергии, так и для генераторов трехфазного тока.

Трехфазная система, соединенная «звездой»

На рис. 60 изображена трехфазная система, соединенная «звездой». Питание потребителей электрической энергией, обладающих сопротивлениями Z_1 , Z_2 и Z_3 , может

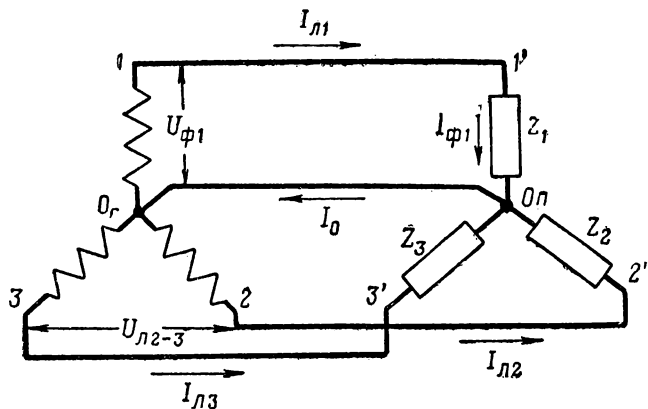


Рис. 60. Трехфазная система, соединенная по схеме «звезда» с нулевым проводом

быть осуществлено по схеме «звезда» с нулевым проводом или без него (рис. 61).

При четырехпроводной системе (рис. 60) нулевой провод позволяет получить независимую работу фаз потребителя, кроме того, эта система дает возможность использовать в сети два различных по величине напряжения: фазное U_ϕ и линейное U_λ .

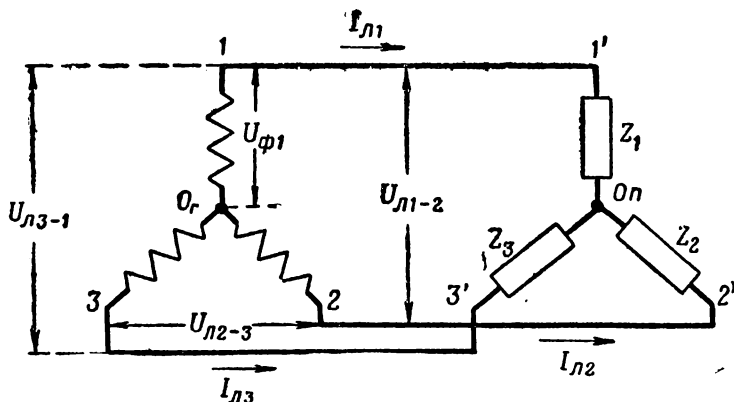


Рис. 61. Трехфазная система, соединенная по схеме «звезда» без нулевого провода

При равномерной нагрузке линейное напряжение U_λ в $\sqrt{3}$ раз больше фазного напряжения U_ϕ :

$$U_\lambda = \sqrt{3} U_\phi. \quad (16.1)$$

Как видно из рис. 60 и 61, линейные токи I_λ равны фазным I_ϕ :

$$I_\lambda = I_\phi, \quad (16.2)$$

а ток в фазе потребителя будет определяться по формуле

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}, \quad (16.3)$$

где I_ϕ — ток в фазе потребителя, а,

U_ϕ — фазное напряжение, в,

Z_ϕ — полное сопротивление фазы потребителя, ом.

В нулевом проводе в каждый момент времени протекает алгебраическая сумма i_0 мгновенных значений фазных токов i_1, i_2, i_3 в цепи

$$i_0 = i_1 + i_2 + i_3. \quad (16.4)$$

Следует иметь в виду, что даже обрыв одного из линейных проводов (или отключение одного из потребителей) не влияет на работу остальных приемников электрической энергии, но обязательно ведет к изменению величины тока I_0 в нулевом проводе.

При питании потребителей без нулевого провода (рис. 61) изменение величины сопротивления z хотя бы одной из фаз потребителя вызывает изменения напряжения и токов в остальных фазах.

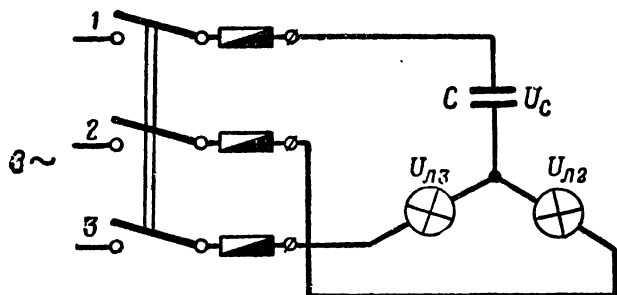


Рис. 62. Фазоуказатель

При обрыве линейного провода (или отключении одного из приемников) трехфазная система превращается в однофазную, а остальные приемники оказываются включенными последовательно друг другу на линейное напряжение $U_{\text{л}}$, при этом ток $I_{\text{ф}}$ в оставшихся приемниках уменьшается.

Необходимо учесть, что потенциалы нулевых точек генератора $\varphi_{0\text{г}}$ и потребителя $\varphi_{0\text{п}}$ (рис. 61) будут неодинаковы и между указанными точками возникнет разность потенциалов ($\varphi_{0\text{г}} - \varphi_{0\text{п}}$), которая получила название нулевого напряжения U_0 :

$$U_0 = \varphi_{0\text{г}} - \varphi_{0\text{п}}. \quad (16.5)$$

Чтобы практически определить U_0 , достаточно подключить вольтметр между нулевыми точками генератора $0_{\text{г}}$ и потребителя $0_{\text{п}}$.

В некоторых случаях важно знать порядок чередования фаз, который может быть определен при помощи фазоуказателя. Фазоуказатель представляет собой неравномерно нагруженную трехфазную систему (рис. 62), состоящую из двух ламп накаливания одинаковой мощности (например, $P=96 \text{ вт}$, $U_{\text{л}}=220 \text{ в}$) и конденсатора с емкостью $C=3 \text{ мкф}$.

Емкость C конденсатора подбирается из такого расчета, чтобы его реактивная проводимость b_c была численно равна активной проводимости q каждой из ламп:

$$b_c = q. \quad (16.6)$$

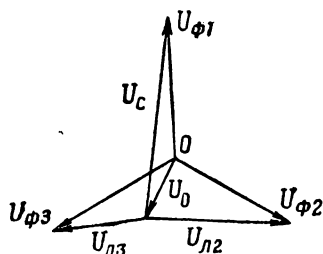


Рис. 63. Векторная диаграмма напряжений, иллюстрирующая работу фазоуказателя

При подключении фазоуказателя к сети первой фазой считают ту, которая подключена к конденсатору, лампа, имеющая большую силу свечения, определяет вторую фазу, а лампа с меньшим свечением — третью.

Разная сила свечения ламп объясняется тем, что напряжения, под которыми находятся лампы фазоуказателя, являются геометрическими разностями фазных напряжений генератора U_ϕ и нулевого напряжения U_0 , причем, как это видно из векторной диаграммы (рис. 63), напряжения, приложенные к лампам, по величине оказываются различными:

$$\bar{U}_в = \bar{U}_{\phi 1} - \bar{U}_0; \quad (16.7)$$

$$\bar{U}_{л2} = \bar{U}_{\phi 2} - \bar{U}_0; \quad (16.8)$$

$$\bar{U}_{л3} = \bar{U}_{\phi 3} - \bar{U}_0; \quad (16.9)$$

$$U_{л2} > U_{л3}, \quad (16.10)$$

где $U_{л2}$, $U_{л3}$ — напряжения, приложенные соответственно к лампам.

Трехфазная система, соединенная «треугольником»

На рис.64 изображена трехфазная система, соединенная «треугольником». Как видно из схемы, линейные напряжения U_λ равны фазным U_ϕ , приемники электрической энергии работают независимо друг от друга:

$$U_\lambda = U_\phi. \quad (16.11)$$

Если сопротивления потребителей Z_1 , Z_2 , Z_3 равны друг другу, то токи I_λ в линейных проводах больше токов I_ϕ в фазах потребителя в $\sqrt{3}$ раз:

$$I_\lambda = \sqrt{3} \cdot I_\phi. \quad (16.12)$$

В случае неравномерной нагрузки, т. е. когда Z_1 , Z_2 и Z_3 не равны друг другу, линейные токи I_L определяются геометрической разностью соответствующих фазных токов I_Φ :

$$\bar{I}_{\lambda 1} = \bar{I}_{1,2} - \bar{I}_{3,1}; \quad (16.13)$$

$$\bar{I}_{\lambda 2} = \bar{I}_{2,3} - \bar{I}_{1,2}; \quad (16.14)$$

$$\bar{I}_{\lambda 3} = \bar{I}_{3,1} - \bar{I}_{2,3}. \quad (16.15)$$

Если произойдет обрыв одного из линейных проводов, то трехфазная система превращается в однофазную, где по-

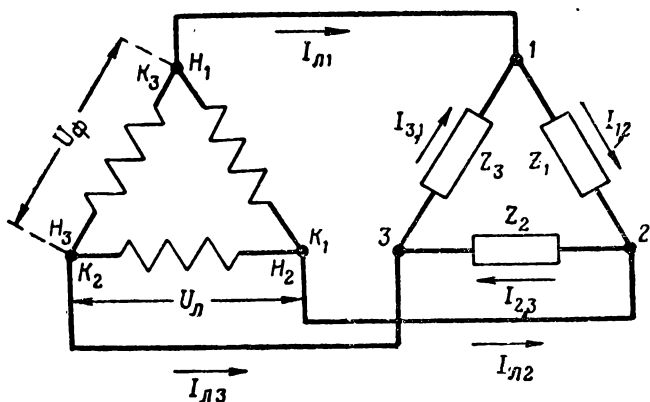


Рис. 64. Трехфазная система, соединенная по схеме „треугольник“

требители будут соединены по схеме смешанного соединения. Например, при обрыве провода 1 (рис. 64) Z_1 и Z_3 будут включены последовательно относительно друг друга и параллельно Z_2 . При этом режим работы фаз потребителя 2—3, находящийся под напряжением $U_{2,3}$, не изменится. Что же касается падений напряжений на Z_1 и Z_3 , то они будут отличными от $U_{2,3}$.

Так как Z_1 , Z_2 , Z_3 будут (в нашей работе) иметь только значения активных сопротивлений, то линейное напряжение $U_{2,3}$ будет распределяться между Z_1 и Z_3 пропорционально их значениям.

$$\frac{U_1}{U_3} = \frac{Z_1}{Z_3}, \quad (16.16)$$

где

$$U_{2,3} = U_1 + U_3. \quad (16.17)$$

Что же касается токов, то фазные токи $I_{1,2}$ и $I_{3,1}$ будут равны друг другу, но меньше токов до обрыва линейного провода.

Ток $I_{2,3}$ останется прежним, а линейные токи $I_{л2}$ и $I_{л3}$ возрастут. При обрыве одной из фаз потребителя (например, между точками 1—2, рис. 64) остальные фазы будут включены в так называемый «открытый треугольник». Токи в остальных фазах $I_{2,3}$ и $I_{3,1}$, а также линейный ток $I_{л3}$ не изменятся. Линейные же токи $I_{л1}$ и $I_{л2}$ станут соответственно равными фазным токам $I_{3,1}$ и $I_{2,3}$:

$$I_{л1} = I_{3,1};$$

$$I_{л2} = I_{2,3}.$$

Порядок выполнения работы

1. Включить в трехфазную сеть фазоуказатель (рис. 62) и определить порядок чередования фаз.

2. Собрать схему трехфазной системы, соединенную «звездой» (рис. 65), и, включив рубильники 1 и 2, установить с помощью реостатов r_1 , r_2 и r_3 , представляющих чисто активные сопротивления, одинаковые токи $I_{л1} = I_{л2} = I_{л3}$ и измерить фазные ($U_{ф1}$; $U_{ф2}$; $U_{ф3}$) и линейные ($U_{1,2}$; $U_{2,3}$; $U_{3,1}$) напряжения на потребителях, для чего включить вольтметр соответственно между точками: 0—1'; 0—2'; 0—3'; 1'—2'; 2'—3'; 3'—1'.

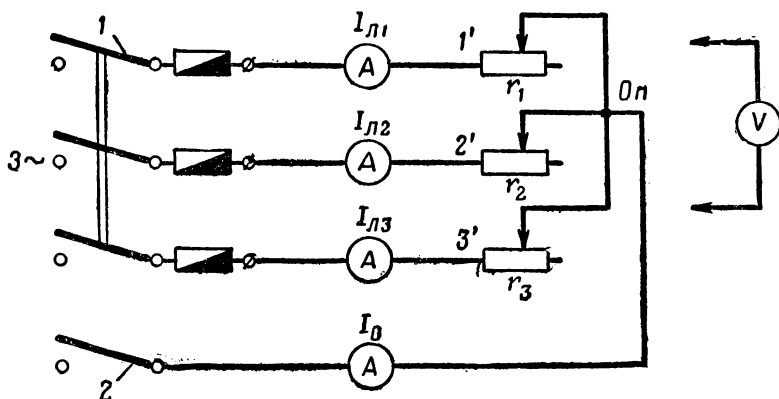


Рис. 65. Схема исследуемой цепи, соединенная «звездой» с нулевым проводом:

1 — трехполюсный рубильник; 2 — однополюсный рубильник

Выключить рубильник 2. И при включенном рубильнике 1 измерить нулевое напряжение U_0 (как показано на рис. 65). Включая и выключая рубильник 2, убедиться в том, что при равномерной нагрузке фаз потребителя наличие или отсутствие нулевого провода не влияет на режим работы приемников электрической энергии.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1

Наблюдения											Вычисления		
$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$	I_0	$U_{ф1}$	$U_{ф2}$	$U_{ф3}$	$U_{1,2}$	$U_{2,3}$	$U_{3,1}$	U_0	$\frac{U_{1,2}}{U_{ф1}}$	$\frac{U_{2,3}}{U_{ф2}}$	$\frac{U_{3,1}}{U_{ф3}}$
амперы				вольты									

3. Включить рубильники 1 и 2 и установить в фазах неравномерную нагрузку (по указанию преподавателя), т. е. $I_{л1} \neq I_{л2} \neq I_{л3}$, измерить нулевое напряжение U_0 , ток в нулевом проводе I_0 и напряжения $U_{ф}$ на фазах потребителя. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Схема питания потребителя	Наблюдения							
	$U_{ф1}$	$U_{ф2}$	$U_{ф3}$	U_0	$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$	I_0
	вольты				амперы			
С нулевым проводом								
Без нулевого провода								

Затем отключить нулевой провод и произвести те же измерения. Опытные данные занести в табл. 2.

Убедиться в необходимости при неравномерной нагрузке фаз потребителя иметь нулевой провод.

4. При включенных рубильниках 1 и 2 установить в цепи (рис. 65) токи $I_{л1} \neq I_{л2} \neq I_{л3}$ согласно табл. 2. Затем, отключив первый линейный провод, измерить токи напряжения при включенном и отключенном нулевом проводе.

Результаты наблюдений занести в табл. 3.

Таблица 3

	$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$	I_0	$U_{ф1}$	$U_{ф2}$	$U_{ф3}$	Примечание
	амперы				вольты			
При включенном нулевом проводе								Неравномерная нагрузка с нулевым проводом До обрыва линейного провода: $I_{л1} = ; I_{л2} = ; I_{л3} = ;$ $U_{ф1} = ; U_{ф2} = ;$ $U_{ф3} = .$
При выключенном нулевом проводе								

5. Собрать схему трехфазной системы, соединенную «треугольником» (рис. 66), и, включив рубильник, установить с помощью реостатов одинаковые токи в фазах $I_{1,2} = I_{2,3} = I_{3,1}$. Измерить линейные и фазные токи, напряжения на приемниках электрической энергии и занести в табл. 4.

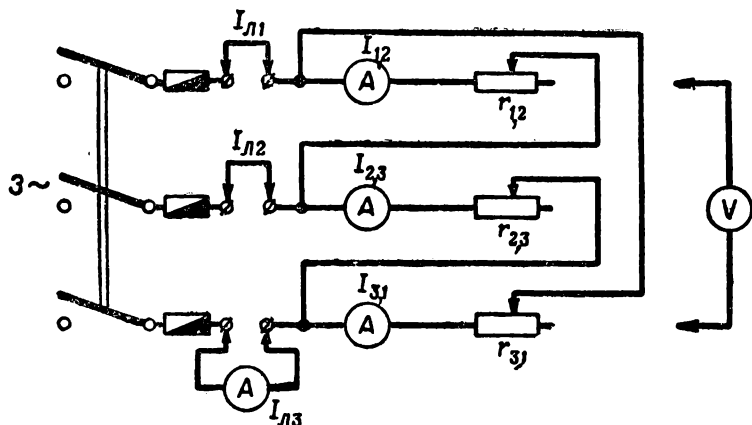


Рис. 66. Схема исследуемой цепи, соединенная «треугольником»

Таблица 4

Вид нагрузки	Наблюдения									Вычисления		
	$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$	$I_{1,2}$	$I_{2,3}$	$I_{3,1}$	$U_{1,2}$	$U_{2,3}$	$U_{3,1}$	$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$
	амперы						вольты			$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$
Равномерная нагрузка												
Неравномерная нагрузка												

То же самое проделать и для случая неравномерной нагрузки, установив $I_{1,2} \neq I_{2,3} \neq I_{3,1}$ по указанию преподавателя.

6. Установить в цепи (рис. 66) токи $I_{1,2} = I_{2,3} = I_{3,1}$, отключить поочередно линейный провод, а затем фазный провод, идущий к ползунку реостата. Опытные данные; наблюдаемые в обоих случаях (значение токов и напряжений), записать в табл. 5.

Таблица 5

Вид повреждения	$I_{1,2}$	$I_{2,3}$	$I_{3,1}$	$I_{л1}$	$I_{л2}$	$I_{л3}$	$U_{1,2}$	$U_{2,3}$	$U_{3,1}$	Примечание
	амперы						вольты			
Обрыв линии										
Обрыв фазы										

7. В отчете указать:

а) по трехфазной системе, соединенной «звездой», — как при обрыве линейного провода изменяются токи, как распределяется линейное напряжение на две оставшиеся включенными фазы потребителя и какова при этом роль нулевого провода;

б) по трехфазной системе, соединенной «треугольником», — как изменяются токи и как распределяется линейное напряжение в случае обрыва линий и обрыва фазы потребителя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель. Изучить основные свойства однофазного трансформатора при двух режимах его работы: холостом ходе и нагрузке.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник электрической энергии переменного тока с $U=127$ в | 1 |
| 2. Трансформатор | 1 |
| 3. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а | 1 |
| 4. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—5 а | 1 |
| 5. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—3 а | 1 |
| 6. Ваттметр переменного тока с пределом измерения $U=127$ в, $P=750$ вт | 1 |
| 7. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—250 в | 1 |
| 8. Реостат ($R=120$ ом; $I=2,45$ а) | 1 |

Трансформаторы широко используются в технике связи, так как они позволяют при заданных мощностях получить любые напряжения, при которых нормально работают многочисленные потребители в приемопередающих радиоустройствах и другой аппаратуре. По своей конструкции трансформатор представляет собой электромагнитный аппарат, который в процессе своей работы преобразует энергию переменного тока одного напряжения в энергию переменного тока другого напряжения, большего или меньшего, не изменяя при этом частоты тока.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции, причем преобразование напряжения осуществляется способом взаимоиндукции.

При пропускании по первичной обмотке трансформатора с числом витков W_1 переменного тока определенной частоты f в сердечнике трансформатора возникает переменный магнитный поток Φ , который будет индуцировать в каждом витке первичной и вторичной обмоток переменную электродвижущую силу (ЭДС) той же частоты (рис. 67).

Величина ЭДС витка E_v зависит от максимальной величины магнитного потока Φ_m , создаваемого намагничиваю-

щей силой $W_1 I_1$ первичной обмотки трансформатора, а также от частоты f тока I_1 .

Так как первичная и вторичная обмотки имеют разное количество витков, а индуцируемые ЭДС в них создаются одним магнитным потоком Φ , то электродвижущие силы E_1 и E_2 в обмотках будут больше ЭДС витка E_v в w_1 и w_2 раз:

$$E_1 = 4,44 W_1 f \Phi_m; \quad (17.1)$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f \Phi_m. \quad (17.2)$$

Разделив (1) на (2), получим

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (17.3)$$

Это соотношение выражает основное свойство трансформатора: ЭДС в его обмотках пропорциональна количеству витков.

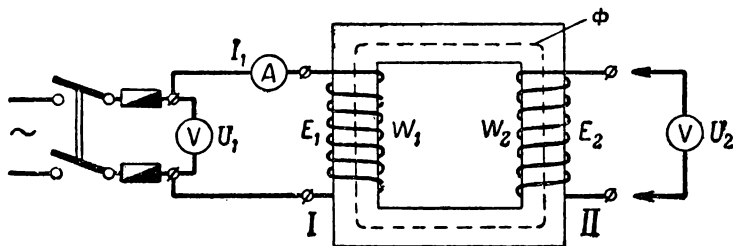


Рис. 67. Принципиальная схема однофазного трансформатора

Если вторичная обмотка отключена от потребителей электрической энергии, то с достаточной степенью точности можно считать, что $E_1 = U_1$; $E_2 = U_2$.

Тогда уравнение (17.3) примет вид

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K. \quad (17.4)$$

Коэффициент трансформации K показывает, во сколько раз напряжение U_1 в первичной обмотке больше (или меньше) напряжения U_2 во вторичной обмотке в режиме холостого хода.

Если $W_2 < W_1$, то $U_2 < U_1$ и $K > 1$ — трансформатор понижающий.

Если $W_2 > W_1$, то $U_2 > U_1$ и $K < 1$ — трансформатор повышающий. Из формулы (17.4) следует, что коэффициент трансформации K можно определить двумя способами:

а) как отношение числа витков W_1 первичной обмотки

к числу витков W_2 вторичной обмотки (если известно число витков W_1 и W_2 обмоток трансформатора);

б) опытным путем, измерив вольтметром напряжения U_1 и U_2 при холостом ходе (т. е. при разомкнутой вторичной обмотке).

Потребляемая трансформатором мощность P_1 и мощность P_2 , отдаваемая вторичной обмоткой потребителям электрической энергии, определяются следующими соотношениями:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1; \quad (17.5)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2, \quad (17.6)$$

где φ_1, φ_2 — углы сдвига фаз между напряжениями в первичной и вторичной обмотках и токами в них;

$\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$ — коэффициенты мощности первичной и вторичной цепей трансформатора.

Если пренебречь потерями энергии в трансформаторе, которые относительно малы, особенно в мощных трансформаторах, то можно считать, что вся подведенная мощность P_1 к первичной обмотке трансформатора полностью передается вторичной обмотке, питающей потребитель, с сопротивлением Z

$$P_1 \cong P_2$$

или по формулам (17.5) и (17.6)

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 \approx U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Считая, что при работе трансформатора $\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$ близки по величине друг к другу, получим

$$U_1 I_1 \cong U_2 I_2, \quad (17.7)$$

откуда

$$\frac{U_1}{U_2} \cong \frac{I_2}{I_1}. \quad (17.8)$$

Из формул (17.4) и (17.8) следует

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} = K, \quad (17.9)$$

т. е. токи I_1 и I_2 в обмотках трансформатора распределяются обратно пропорционально количествам витков (W_2 и W_1) в них, а также напряжениям U_2 и U_1 .

Различают два режима работы трансформатора: при холостом ходе и при нагрузке.

При холостом ходе вторичная обмотка трансформатора разомкнута и большая часть всей подведенной мощности P_0 расходуется на компенсацию потерь в стали сердечника трансформатора $P_{ст}$ (которые, как известно, состояются из потерь на гистерезис $P_г$ и вихревые токи $P_{вт}$) и потерь в меди проводов первичной обмотки $I_0^2 r_1$, вызванные нагревом проводов током I_0 холостого хода:

$$P_m = I_0^2 r_1; \quad (17.10)$$

$$P_0 = P_{ст} + I_0^2 r_1, \quad (17.11)$$

где I — ток холостого хода;

r_1^0 — активное сопротивление первичной обмотки трансформатора.

Мощность P_0 является активной мощностью, так как потери в стали $P_{ст}$ и меди проводов P_m носят активный характер. Поэтому P_0 может быть определено при помощи

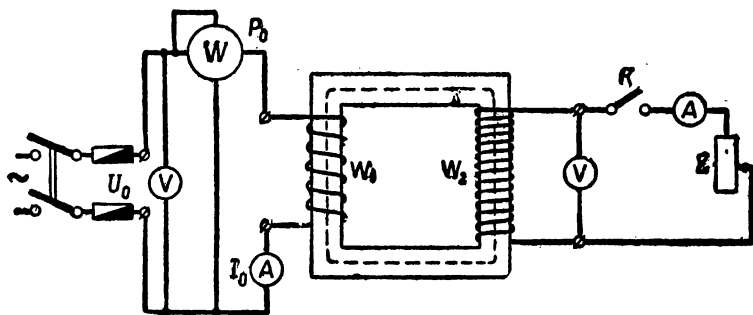


Рис. 68. Схема исследуемой цепи при работе трансформатора на холостом ходе и под нагрузкой

ваттметра, включенного в цепь первичной обмотки трансформатора (рис. 68).

Конструкции трансформаторов таковы, что обычно мощность потерь P_m в меди проводов в десятки раз меньше мощности потерь $P_{ст}$ в стали сердечника. Поэтому, допуская определенную погрешность, можно мощностью потерь P_m пренебречь, и уравнение (17.11) примет вид

$$P_0 \cong P_{ст}. \quad (17.12)$$

Следовательно, холостой ход трансформатора следует использовать не только для определения коэффициента трансформации K , но и для определения мощности потерь $P_{ст}$.

Зависимость тока холостого хода I_0 от величины напряжения U_0 , подведенного к зажимам первичной обмотки $I_0 = f(U_0)$, получила название характеристики холостого хода трансформатора. На рис. 69 эта зависимость графически представлена.

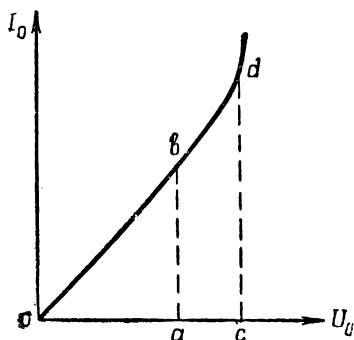


Рис. 69. Изменения тока холостого хода I_0 при изменении приложенного напряжения U_0 к первичной обмотке трансформатора

При относительно небольших значениях напряжения U_0 (участок $0a$), значительно меньших номинального напряжения U_n , при котором эксплуатируется трансформатор, существует линейная зависимость между U_0 и I_0 , так как сталь сердечника трансформатора не насыщена. Дальнейшее увеличение U_0 приводит к тому, что линейная зависимость между U_0 и I_0 нарушается.

Ток холостого хода I_0 увеличивается быстрее напряжения U_0 (участок ac), так как

начиная с точки b возрастает влияние насыщенности стального сердечника.

При нагрузке трансформатора (второй режим работы трансформатора), кроме полезной мощности P_2 , расходуемой на сопротивлении Z , подключенном к зажимам вторичной обмотки (рис. 68), возникает мощность потерь P_{01} , которая будет больше мощности потерь P_0 при холостом ходе трансформатора: $P_{01} > P_0$.

Это объясняется тем, что мощность потерь в меди проводов P_m увеличивается, так как эти потери возникают не только в первичной, но и во вторичной обмотках трансформатора:

$$P_m = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2, \quad (17.13)$$

где r_2 — активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

Однако мощность потерь $P_{ст}$ и при этом режиме будет такой же, как и при холостом ходе, так как магнитный по-

ток Φ трансформатора при обоих режимах остается без изменения.

Следовательно, уравнение (17.11) примет вид

$$P_{01} = P_{ст} + I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2. \quad (17.14)$$

Величина $P_{ст}$, как указывалось выше, определяется при холостом ходе трансформатора. Что же касается P_m , то она может быть определена практически при режиме короткого замыкания (рис. 72).

Вторичная обмотка замыкается накоротко, а к зажимам первичной обмотки подводят пониженное напряжение $U_{к.з}$ (примерно 5—15% от номинального напряжения U_n), при котором токи I_1 и I_2 в обмотках будут равны их номинальным значениям. При таком режиме вся подведенная мощность P_1 будет затрачиваться в меди проводов P_m и стали сердечника $P_{ст}$:

$$P_1 = P_{01} = P_{ст} + I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2. \quad (17.15)$$

Но так как подведенное напряжение к зажимам первичной обмотки $U_{к.з} = (0,05 \div 0,15) U_n$ весьма мало, то и мощность потерь $P_{ст}$ будет малой и значительно меньше мощности потерь P_m :

$$P_{ст} \ll P_m.$$

Пренебрегая значением $P_{ст}$, можно считать, что вся подведенная мощность P_1 к первичной обмотке трансформатора полностью затрачивается для компенсации потерь в меди проводов обмоток:

$$P_1 = P_{01} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2. \quad (17.16)$$

Таким образом, ваттметр, включенный в цепь первичной обмотки трансформатора, в этом случае покажет ак-

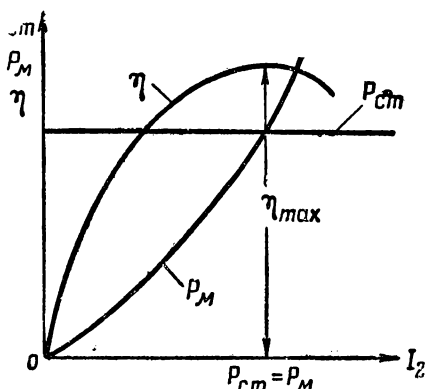


Рис. 70. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения мощности потерь в стали $P_{ст}$, в меди P_m и коэффициента полезного действия η при изменении тока I_2 во вторичной обмотке трансформатора

тивную мощность P_1 , равную мощности потерь P_{01} (17.16). На рис. 70 показано, как изменяются $P_{ст}$, P_m и коэффициент полезного действия (к.п.д.) η трансформатора при изменении I_2 .

Работа трансформатора под нагрузкой определяется двумя характеристиками: $U_2=f(I_2)$ и $I_1=f(I_2)$, которые изображены на рис. 71.

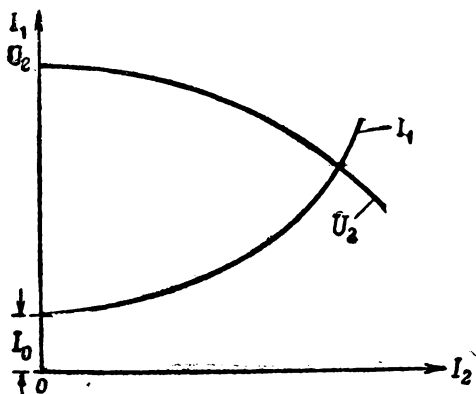


Рис. 71. Изменения тока I_1 в первичной обмотке трансформатора и напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки при изменении тока I_2

Первая характеристика $U_2=f(I_2)$, т. е. зависимость напряжения U_2 на зажимах вторичной обмотки трансформатора от тока I_2 в ней, показывает, что с ростом I_2 напряжение U_2 уменьшается. Для силовых трансформаторов снижение напряжения U_2 при изменении тока в пределах от тока холостого хода I_0 до номинального I_n относительно невелико. Снижение напряжения U_2 с ростом I_2 объясняется главным образом увеличением падения напряжения $I_2 Z_2$ на полном сопротивлении Z_2 вторичной обмотки трансформатора:

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{I}_2 z_2. \quad (17.17)$$

Вторая характеристика $I_1=f(I_2)$ — зависимость тока I_1 в первичной обмотке от тока I_2 во вторичной обмотке — получается такой потому, что с ростом I_2 увеличивается полезная мощность P_2 на потребителе Z , расход которой компенсируется подведенной мощностью P_1 к трансформатору.

Однако рост мощности P_1 , потребляемой трансформатором, возможен, в конечном счете, только за счет возрастания тока I_1 , так как напряжение U_1 , приложенное к зажимам первичной обмотки, остается практически постоянным.

Так как при работе трансформатора под нагрузкой неизбежны потери, то он всегда работает с определенным коэффициентом полезного действия (к.п.д. — η). Трансформаторы, отличающиеся по мощности друг от друга, имеют разные к.п.д., численное значение которых колеблется при номинальных нагрузках в пределах 70—98%. Значение η трансформатора определяется отношением отдаваемой мощности P_2 к мощности P_1 , потребляемой трансформатором:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% \quad (17.18)$$

или

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ст}} + P_{\text{м}}} 100\%. \quad (17.19)$$

Следует иметь в виду, что с изменением полезной мощности, затрачиваемой на сопротивление Z (рис. 68), значение η не остается постоянным. Наибольший к.п.д. трансформатора получается тогда, когда $P_{\text{ст}} = P_{\text{м}}$ (рис. 70).

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь согласно схеме рис. 68 и снять опытные данные для определения коэффициента трансформации K , мощности потерь $P_{\text{ст}}$, коэффициента мощности $\cos \varphi_0$ и угла сдвига фаз φ_0 между U_1 и I_0 . Данные измерения и вычислений занести в табл. 1.

Таблица 1

Наблюдения				Вычисления		
$U_1,$ В	$U_2,$ В	$I_0,$ А	$P_0 = P_{\text{ст}},$ Вт	K	$\cos \varphi_0$	φ_0

2. Замкнуть ключ K и, изменяя сопротивления реостата $z=r$, снять опытные данные для построения кривых

$$U_2 = f(I_2) \text{ и } I_1 = f(I_2).$$

Изменения I_2 производить в пределах, указанных руководителем занятия, но так, чтобы получить 5—7 измерений. Опытные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Наблюдения				Вычисления		Примечание
$I_2,$ a	$I_1,$ a	$U_2,$ b	$U_1,$ b	$\frac{U_1}{U_2}$	$\frac{I_2}{I_1}$	

3. Собрать электрическую цепь согласно рис. 72 и, не подключая амперметр к зажимам a и b , установить по вольтметру

$$U_{к.з} = 0,05U_n.$$

Выключить ключ K , подключить амперметр к зажимам a и b и вновь замкнуть ключ K . Изменяя положения ползунка потенциометра, установить такое напряжение U_1 , при котором I_1 и I_2 были номинальными. Записать значе-

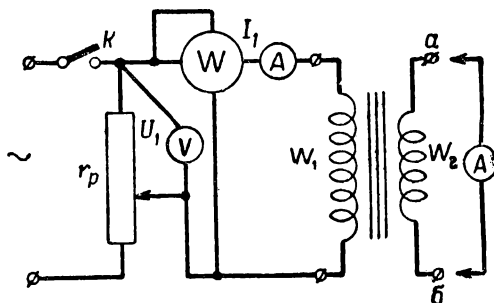


Рис. 72. Схема исследуемой цепи трансформатора при режиме короткого замыкания

ния $I_1, I_2, P_1 = P_m$, выключить ключ K и отсоединить амперметр от клемм a и b . По опытным данным (табл. 1 и 2) вычислить η трансформатора (17.19), отношение мощностей потерь

$$\eta = \dots; \frac{P_{ст}}{P_m} = \dots$$

4. Замкнуть ключ K и, изменяя U_0 при помощи потенциометра от минимума напряжения $U_{1м}$, при котором можно замерить ток холостого хода I_0 , до номинального напряжения $U_{1н}$, на которое рассчитан трансформатор, снять опытные данные для построения характеристики холостого хода

$$I_0 = f(U_0).$$

Данные опыта занести в табл. 3.

Таблица 3

$U_0,$ v									
$I_0,$ a									

В отчете вычертить схемы, по которым были проделаны опыты, записать в табл. 1, 2, 3, построить кривые $I_0 = f(U_0)$, $I_1 = f(I_2)$, $U_2 = f(I_1)$ и пояснить их; по вычисленному значению K определить, какой был использован трансформатор. Используя опытные данные табл. 2, проверить для трех измерений соотношение

$$\frac{U_1}{U_2} \cong \frac{I_2}{I_1}.$$

Пояснить, почему между $\frac{U_1}{U_2}$ и $\frac{I_2}{I_1}$ нет точного равенства.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 18

ПОДБОР ШУНТА К АМПЕРМЕТРУ И ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ К ВОЛЬТМЕТРУ

Цель. Получить практические навыки в подборе шунтов и добавочных сопротивлений.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U = 24 \text{ в}$ 1

2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—1 а, класс 1,5 1
3. Гальванометр постоянного тока с пределом измерения 0—7 ма (школьного типа) 1
4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—30 в, класс 1,5 1
5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—3—15—150 в, класс 2,5 1
6. Реостат ($R=24\text{ ом}$; $I=2\text{ а}$) 1
7. Реостат ($R=120\text{ ом}$; $I=2,4\text{ а}$) 1
8. Реостат ($R=500\text{ ом}$; $I=0,4\text{ а}$) 1
9. Реостат ($R=1500\text{ ом}$; $I=0,4\text{ а}$) 1
10. Манганиновая проволока для изготовления шунта.

В тех случаях, когда хотя бы расширить предел измерения амперметра магнитоэлектрической системы, применяют шунты, т. е. точно выверенное безындукционное сопротивление $r_{\text{ш}}$, по которому протекает наибольшая часть измеряемого тока.

Это обычно вызывается тем, что без шунта, через подвижную катушку амперметра можно пропускать ток не более 150—200 ма, а при измерении токов в электрических цепях они достигают десятков и сотен ампер. Для неизменности величины сопротивления шунта материал, из которого он изготавливается, должен обладать малым температурным коэффициентом.

Сечение шунта должно быть таким, чтобы при работе он не нагревался.

Шунт с сопротивлением $r_{\text{ш}}$ включается последовательно в цепь измеряемого тока, а параллельно ему — амперметр, обладающий определенным сопротивлением r_a (рис. 73).

Определим, каким должно быть сопротивление $r_{\text{ш}}$, чтобы расширить предел измерения данного амперметра в n раз.

Отношение предельного тока I , измеряемого амперметром с шунтом, к предельному току I_a , измеряемому амперметром без шунта, получило название коэффициента шунта:

$$n = \frac{I}{I_a}, \quad (18.1)$$

где n — коэффициент шунта;

I — предельный ток, на который рассчитывается амперметр с шунтом;

I_a — предельный ток, на который рассчитан амперметр без шунта.

Из определения следует, что коэффициент шунта n показывает, во сколько раз при помощи сопротивления шунта $r_{ш}$ расширяется предел измерения данного амперметра.

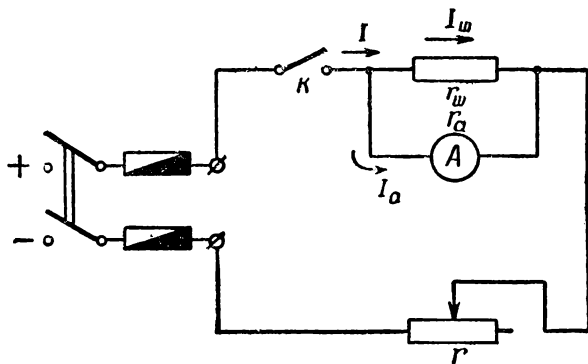


Рис. 73. Схема включения шунта $r_{ш}$ и амперметра в цепь

Так как I_a и $I_{ш}$ распределяются обратно пропорционально сопротивлениям r_a и $r_{ш}$, то

$$\frac{I_a}{I_{ш}} = \frac{r_{ш}}{r_a}, \quad (18.2)$$

откуда

$$r_{ш} = r_a \frac{I_a}{I_{ш}}. \quad (18.3)$$

По первому закону Кирхгофа

$$I = I_{ш} + I_a; \quad (18.4)$$

$$I_{ш} = I - I_a. \quad (18.5)$$

Из формул (18.3) и (18.5) следует

$$r_{ш} = \frac{r_a I_a}{I - I_a}. \quad (18.6)$$

Или, разделив числитель и знаменатель на I_a , уравнение (18.6) примет вид

$$r_{ш} = \frac{r_a}{\frac{I}{I_a} - 1}. \quad (18.7)$$

Используя формулу (18.1), получим уравнение, по которому можно рассчитать сопротивление шунта

$$r_{\text{ш}} = \frac{r_a}{n-1}. \quad (18.8)$$

Таким образом, чтобы рассчитать $r_{\text{ш}}$, достаточно знать сопротивление амперметра r_a и во сколько раз измеряемый предельный ток I будет больше предельного тока амперметра I_a , т. е. знать значение коэффициента шунта n .

Для расширения предела измерения вольтметра, как и для амперметра, применяется точно выверенное сопротивление, которое включается по отношению к вольтметру последовательно. Это сопротивление в отличие от шунта получило название добавочного сопротивления r_d .

Необходимость расширения пределов измерения вольтметра вызывается тем, что по схеме и принципу действия вольтметр, так же как и амперметр является миллиамперметром, шкала которого только проградуирована на вольты.

Но так как сопротивление подвижной катушки прибора очень мало и пропускаемый по ней ток I_v относительно велик, то падение напряжения U_v на этом сопротивлении будет мало.

Поэтому, чтобы измерить достаточно большое напряжение порядка десятков или тысяч вольт, необходимо последовательно с прибором включить добавочное сопротивление r_d , на котором будет большая часть падения измеряемого напряжения. Это позволяет проградуировать прибор по измеряемому напряжению, хотя сам прибор фиксирует падение напряжения на сопротивлении подвижной катушки прибора.

Чтобы определить r_d , нужно знать сопротивление вольтметра r_v и во сколько раз предельное измеряемое напряжение U больше предельного напряжения вольтметра U_v :

$$m = \frac{U}{U_v}, \quad (18.9)$$

где m — переводной множитель;

U_v — предельное напряжение, на которое рассчитан вольтметр без r_d ;

U — предельное напряжение, на которое рассчитан вольтметр с r_d .

Это отношение в отличие от коэффициента шунта n называется переводным множителем m .

Выведем расчетную формулу для добавочного сопротивления.

Так как r_v и r_d соединены последовательно (рис. 74), то приложенное к потребителю напряжение U с сопротив-

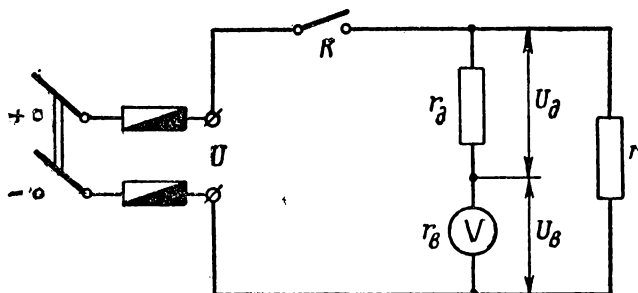


Рис. 74. Схема включения добавочного сопротивления r_d и вольтметра в цепь

лением r распределяется между ними прямо пропорционально их сопротивлениям

$$\frac{U_d}{U_v} = \frac{r_d}{r_v}, \quad (18.10)$$

откуда

$$r_d = r_v \frac{U_d}{U_v}. \quad (18.11)$$

С другой стороны, измеряемое напряжение U будет равно

$$\begin{aligned} U &= U_v + U_d, \\ \text{или} \quad U_d &= U - U_v. \end{aligned} \quad (18.12)$$

Из формул (18.11) и (18.12) следует

$$r_d = r_v \frac{U - U_v}{U_v}. \quad (18.13)$$

Используя формулу (18.9), получим окончательное уравнение для расчета добавочного сопротивления

$$r_d = r_v \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right)$$

или

$$r_d = r_b(m - 1). \quad (18.14)$$

Добавочное сопротивление, как и шунты, изготавливается из манганина, который, как известно, обладает малым температурным коэффициентом и достаточно большим удельным сопротивлением. Сопротивления амперметра и вольтметра (r_a , r_b) определяются путем их измерений при помощи моста постоянного тока или по данным прибора.

Порядок выполнения работы

1. Используя гальванометр школьного типа магнито-электрической системы, в первом случае подобрать к нему шунт $r_{ш}$ и получить амперметр, во втором — добавочное сопротивление r_d и получить вольтметр.

2. По данным гальванометра (U_r , I_r) определить расчетом сопротивление r_r гальванометра, которое в обоих случаях будет одним и тем же сопротивлением как для амперметра, так и вольтметра:

$$r_r = r_a = r_b = \frac{U_r}{I_r}. \quad (18.15)$$

І. Расширение пределов измерения гальванометра и получение из него амперметра

1) Зная $r_a = r_r$, $I_a = I_r$, предельное значение измеряемого тока I (задается преподавателем), удельное сопротивление ρ и сечение S манганиновой проволоки (из которой изготавливается шунт), рассчитать n , $r_{ш}$ и длину $l_{ш}$ проволоки $r_{ш}$.

2) Собрать электрическую цепь согласно рис. 75. Ввести реостат r_p . Манганиновую проволоку одним концом закрепить на клемме прибора a , а другим концом соединить с проводом цепи b . Натянуть манганиновую проволоку и наложить ее на вторую клемму прибора b . Установить при помощи реостата по эталонному амперметру A_0 предельный ток, равный I .

3) Увеличивая длину манганиновой проволоки ab (касаясь все время клеммы прибора b) и одновременно под-

держивая по эталонному прибору значение предельного тока, равное I , установить предельное значение тока $I_a = I_r$ гальванометра.

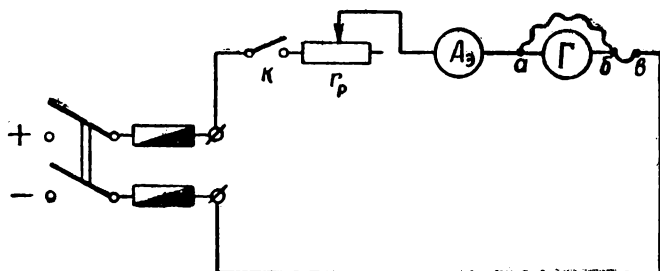


Рис. 75. Схема для практического подбора шунта

4) Выключить электрическую цепь. Замерить длину l манганиновой проволоки, сопротивление которой и будет сопротивлением шунта $r_{ш}$. Измерить при помощи моста постоянного тока $r_{ш}$ и сравнить измеренные $r_{ш}$ и $l_{ш}$ с расчетными.

II. Расширение пределов измерения гальванометра и получение из него вольтметра

1) Зная $r_v = r_r$, $U_v = U_r$, предельное значение измеряемого напряжения U (задается преподавателем), удельное сопротивление ρ и сечение S манганиновой проволоки (из которой изготавливается r_d), рассчитать m , r_d и длину l_d проволоки r_d .

2) Собрать электрическую цепь (рис. 76) и практически подобрать величину добавочного сопротивления r_d , для чего:

а) ввести полностью реостат r_p (сопротивление которого будет использовано как r_d) и включить электрическую цепь. При помощи потенциометра установить по эталонному вольтметру U_3 предельное напряжение U ;

б) уменьшая сопротивление реостата r_p , установить по гальванометру предельное напряжение $U_v = U_r$, поддерживая в то же время по эталонному вольтметру предельное напряжение U .

3) Выключить цепь и измерить сопротивление реостата r_p при помощи моста постоянного тока. Это сопротивление и будет добавочным сопротивлением ($r_p = r_d$).

Сравнить измеренное сопротивление с расчетным.

В отчете по практической работе сделать выводы:

— почему сопротивления $r_{ш}$ и r_d , измеренные мостом постоянного тока, по величине несколько отличаются от вычисленных;

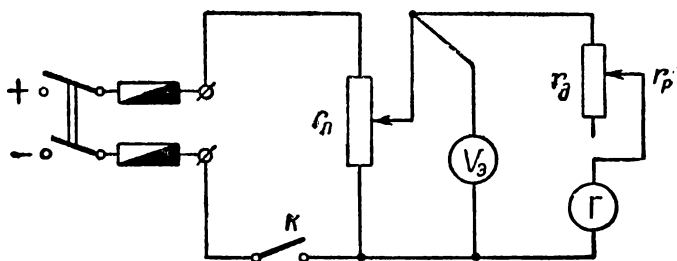


Рис. 76. Схема для практического подбора добавочного сопротивления

— почему в начале практического подбора $r_{ш}$ и r_d первое сопротивление берут несколько меньшим, а второе — несколько большим по отношению к вычисленным;

— чем отличается вольтметр магнитоэлектрической системы от амперметра той же системы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА И БОЛЬШИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОДНИМ ВОЛЬТМЕТРОМ

Цель. Получить практические навыки в измерении сопротивлений методами амперметра и вольтметра и одного вольтметра.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U = 24$ в | 1 |
| 2. Анодные батареи БАС-80 или БАС-60 | 2 |
| 3. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—500 ма | 1 |

4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—30 в	1
5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—15 в	1
6. Радиолампа ГКЭ-100	1
7. Ресстат ($R=24\text{ ом}$, $I=3\text{ а}$)	1
8. Реостат ($R=500\text{ ом}$, $I=0,6\text{ а}$)	1
9. Набор сопротивлений ($R=0,1 \div 1,0$)	10
10. Силовой трансформатор	1

I. Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра

Сущность данного метода основана на использовании закона Ома для участка цепи. Если собрать электрическую цепь, где в качестве нагрузки включено измеряемое сопротивление r_x и при помощи амперметра и вольтметра изме-

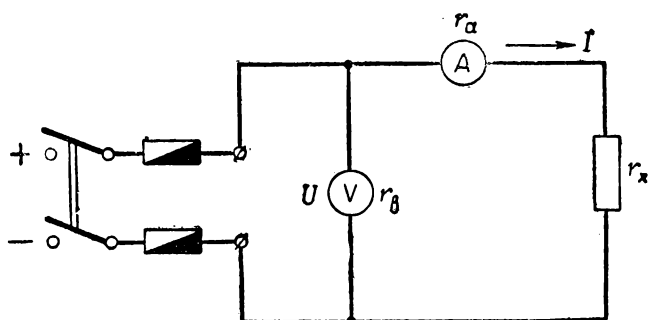


Рис. 77. Схема для измерения больших сопротивлений

рить ток I и напряжение U на участке r_x , то величина измеряемого сопротивления r_x может быть определена расчетным путем:

$$r_x = \frac{U}{I}. \quad (19.1)$$

При измерениях тока и напряжения возможны две схемы включения приборов (рис. 77 и 78).

При включении приборов по схеме рис. 77,

$$U = Ir_x + Ir_a, \quad (19.2)$$

откуда

$$r_x = \frac{U}{I} - r_a. \quad (19.3)$$

Если сопротивление амперметра r_a значительно меньше измеряемого сопротивления r_x , то сопротивлением r_a можно пренебречь, и тогда

$$r_x \cong \frac{U}{I}. \quad (19.4)$$

Если же r_a и r_x одинакового порядка, то пренебрегать сопротивлением r_a нельзя, так как тогда будет очень большая погрешность измерения.

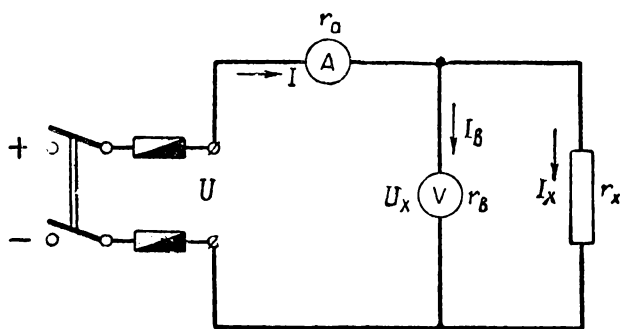


Рис. 78. Схема для измерения малых сопротивлений

Таким образом, включение приборов по схеме рис. 77 применимо только тогда, когда измеряемое сопротивление r_x значительно больше сопротивления амперметра r_a , т. е. схема (рис. 77) применима при измерениях сравнительно больших сопротивлений (порядка сотен или тысяч ом).

При включении приборов по схеме рис. 78 вольтметр покажет напряжение на измеряемом сопротивлении r_x . Амперметр же измерит ток I , равный сумме двух токов:

$$I = I_x + I_v, \quad (19.5)$$

где I_x — ток, протекающий по сопротивлению r_x ,
 I_v — ток, протекающий по сопротивлению r_v вольтметра.

Так как

$$I_x = I - I_v,$$

то

$$r_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_B}. \quad (19.6)$$

Но r_B и r_x соединены параллельно, поэтому токи в ветвях I_B и I_x распределятся обратно пропорционально этим сопротивлениям:

$$\frac{I_B}{I_x} = \frac{r_x}{r_B}. \quad (19.7)$$

Если $r_B \gg r_x$, то $I_B \ll I_x$.

Поэтому величиной тока I_B , протекающего по вольтметру, можно пренебречь, и уравнение (19.6), определяющее r_x , примет вид

$$r_x \cong \frac{U_x}{I}. \quad (19.8)$$

Следовательно, включение приборов по схеме рис. 78 применимо для малых значений измеряемого сопротивления, когда сопротивление r_x значительно меньше сопротивления вольтметра r_B .

II. Измерение больших сопротивлений методом одного вольтметра

Данный метод является приближенным и применяется для измерения омических сопротивлений порядка десятков и сотен тысяч ом (например, сопротивления изоляции проводов). Для измерения данным методом необходимо иметь вольтметр с известным сопротивлением r_B порядка 20 000 или 40 000 ом и источник постоянного тока с малым внутренним сопротивлением r_0 с тем, чтобы внутренним падением напряжения $I r_0$ при измерениях можно было пренебречь. Сущность данного метода заключается в следующем:

1. Собирается цепь согласно рис. 79.

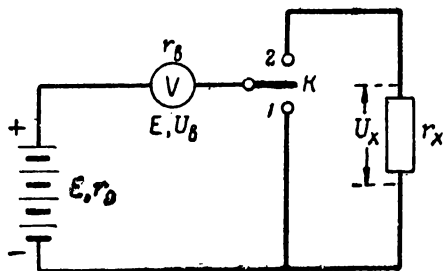


Рис. 79. Принципиальная схема измерения больших сопротивлений методом одного вольтметра

2. Ключ K ставится в положение 1. При этом вольтметр измерит величину ЭДС источника электрической энергии E , равную напряжению холостого хода U_{xx}

$$U_{xx} = E. \quad (19.9)$$

3. Ключ K ставится в положение 2. При этом вольтметр включается последовательно с измеряемым сопротивлением r_x , и его показания пропорциональны падению напряжения U_v на сопротивлении r_v вольтметра.

При таком способе включения вольтметра

$$E = Ir_x + Ir_v + Ir_0, \quad (19.10)$$

но так как $U_0 = I_0 r_0$ весьма мало по сравнению с $U_x = Ir_x$, то

$$E = Ir_x + Ir_v \quad (19.11)$$

или

$$E = U_x + U_v, \quad (19.12)$$

откуда

$$U_x = E - U_v. \quad (19.13)$$

С другой стороны, известно, что при последовательном соединении сопротивлений падение напряжений распределяется прямо пропорционально сопротивлениям участков r_x и r_v :

$$\frac{U_x}{U_v} = \frac{r_x}{r_v}. \quad (19.14)$$

Решая совместно уравнения (19.13) и (19.14) относительно r_x , получим

$$r_x = \frac{U_x}{U_v} \cdot r_v$$

или

$$r_x = \frac{E - U_v}{U_v} \cdot r_v. \quad (19.15)$$

Таким образом, чтобы вычислить r_x по формуле (19.15), необходимо из опыта определить E и U_v и знать значение r_v .

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь согласно рис. 80 и методом амперметра и вольтметра определить сопротивление нити накала лампы 6К7 при токе в нити накала 0,3 а.

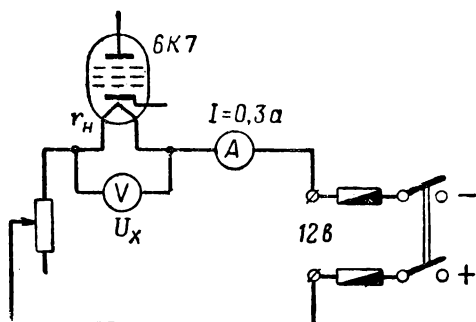


Рис. 80. Схема исследуемой цепи при измерении малого сопротивления методом амперметра и вольтметра

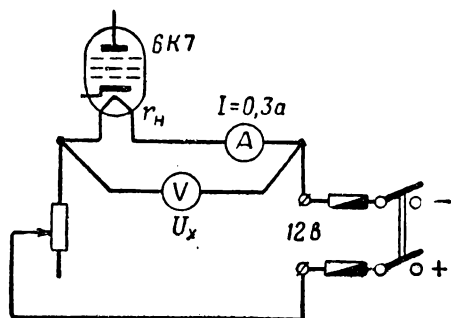


Рис. 81. Схема исследуемой цепи при измерении малого сопротивления методом амперметра и вольтметра с неправильным включением вольтметра

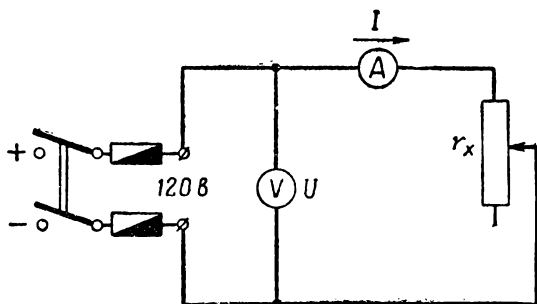


Рис. 82. Схема исследуемой цепи при измерении большого сопротивления методом амперметра и вольтметра

2. Ту же работу выполнить по схеме согласно рис. 81.
3. Собрать схему согласно рис. 82 и методом амперметра и вольтметра определить сопротивление реостата. Результаты измерений сравнить с номинальными данными реостата, указанными в паспорте.

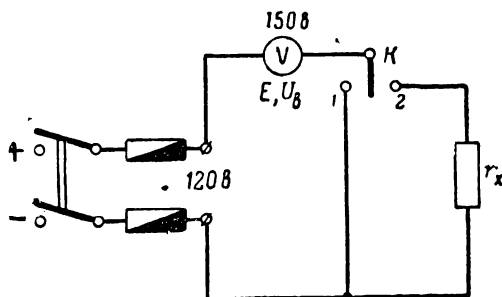


Рис. 83. Схема исследуемой цепи при измерении большого сопротивления одним вольтметром

4. Собрать цепь согласно рис. 83 и методом одного вольтметра измерить величину непроволочного сопротивления и сопротивления изоляции обмотки силового трансформатора.

5. Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

Наименование измеряемого сопротивления	Метод измерения	$E, \text{в}$	$U, \text{в}$	$I, \text{а}$	$r_{\text{в}}, \text{ом}$	$r_{\text{х}}, \text{ом}$
Нить накала лампы 6К7	Амперметра и вольтметра					
То же	То же					
Реостат	То же					
Непроволочное сопротивление	Одного вольтметра					
Изоляция обмотки силового трансформатора	—					

6. В отчете по практической работе дать сравнительную характеристику измерений по пп. 1 и 2, указать, какой из результатов является наиболее точным и почему.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОММЕТРОМ И МОСТОМ

Цель. Получить практические навыки в измерении сопротивлений при помощи омметра и моста постоянного тока.

Материальное обеспечение:

- | | |
|----------------------------------|----|
| 1. Омметр М-57 | 1 |
| 2. Омметр М-471 | 1 |
| 3. Мост УМВ-49 | 1 |
| 4. Набор сопротивлений | 10 |

Омметр и мост постоянного тока являются приборами для непосредственного измерения сопротивлений.

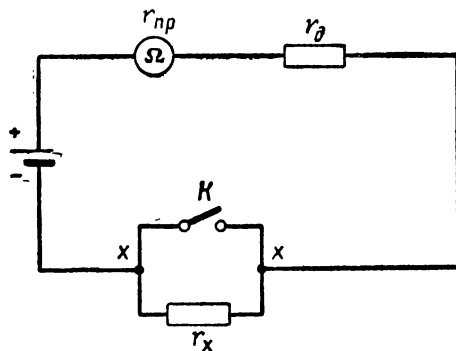


Рис. 84. Принципиальная схема омметра

Омметр представляет собой магнитоэлектрический измерительный прибор, снабженный источником постоянного тока (гальванический элемент). Принципиальная электрическая схема омметра приведена на рис. 84.

При замкнутом ключе K ток в цепи I максимальный, так как сопротивление r_x участка xx равно нулю:

$$I = \frac{U}{r_{\text{пр}} + r_{\text{д}} + r_x} = \frac{U}{r_{\text{пр}} + r_{\text{д}}}. \quad (20.1)$$

При этом добавочное сопротивление $r_{\text{д}}$ подбирается так, чтобы стрелка прибора отклонилась на всю шкалу. Это положение стрелки будет соответствовать измеряемому сопротивлению $r_x = 0$.

При разомкнутом ключе K ток I в цепи будет тем меньше, чем больше измеряемое сопротивление r_x :

$$I = \frac{U}{r_{пр} + r_d + r_x}. \quad (20.2)$$

Таким образом, шкала прибора может быть отградуирована непосредственно в величинах сопротивления. При отключенном сопротивлении r_x и разомкнутом ключе K цепь разомкнута и ток I в цепи будет равен нулю. Положение стрелки прибора соответствует значению сопротивления $r_x = \infty$.

По мере разрядки гальванического элемента его напряжение уменьшается, поэтому начальная градуировка шкалы прибора нарушится. Чтобы восстановить ее, в приборах применяют магнитные или электрические шунты.

Следует иметь в виду, что точность омметров сравнительно невысокая, поэтому омметры применяются в тех случаях, когда требуется быстро измерить сопротивление, а высокая точность измерения не является обязательной. Обычно омметры широко используются в цеховой практике и электрорадиомонтажах.

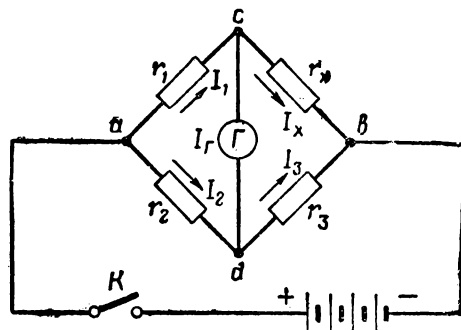


Рис. 85. Принципиальная схема моста постоянного тока

Для точных измерений сопротивлений применяются мосты постоянного тока. Электрическая схема моста приведена на рис. 85.

Сопротивления r_1 , r_2 , r_3 и r_x называются плечами моста, при этом сопротивления r_1 и r_2 называются балансными плечами моста, r_3 — сравнительным и r_x — измеряемым.

Если потенциалы точек c и d φ_c и φ_d равны, то

$$\varphi_c - \varphi_d = 0$$

и тока в гальванометре не будет ($I_g = 0$). Такой режим работы называется равновесием моста.

В этом случае

$$I_1 = I_x;$$

$$I_2 = I_3.$$

Кроме того,

$$I_1 r_1 = I_2 r_2; \quad (20.3)$$

$$I_x r_x = I_3 r_3. \quad (20.4)$$

Разделив равенство (20.3) на (20.4), получим

$$\frac{I_1 r_1}{I_x r_x} = \frac{I_2 r_2}{I_3 r_3} \quad (20.5)$$

или

$$\frac{r_1}{r_x} = \frac{r_2}{r_3}, \quad (20.6)$$

откуда

$$r_1 r_3 = r_x r_2, \quad (20.7)$$

т. е. условием равновесия моста (отсутствия тока в гальванометре) является равенство произведений сопротивлений противоположных плеч моста.

Из последней формулы следует, что

$$r_x = \frac{r_1}{r_2} r_3. \quad (20.8)$$

Следовательно, зная соотношение сопротивлений балансных плеч моста (r_1 и r_2) и величину сравнительного сопротивления r_3 , при которых (при данном измеряемом сопротивлении) имеет место равновесие моста, можно определить величину неизвестного измеряемого сопротивления r_x по формуле (20.8).

По методу измерения мосты бывают двух видов. В одном из них устанавливается постоянное отношение балансных плеч $\frac{r_1}{r_2}$, и равновесие моста достигается подбором величины сравнительного сопротивления r_3 .

В другом виде мостов устанавливается постоянная величина сравнительного сопротивления r_3 , и равновесие моста достигается подбором отношения балансных плеч.

В настоящее время широкое применение получил универсальный мост постоянного тока УМВ-49, выпускаемый отечественной электропромышленностью. Принципиальная схема моста приведена на рис. 86.

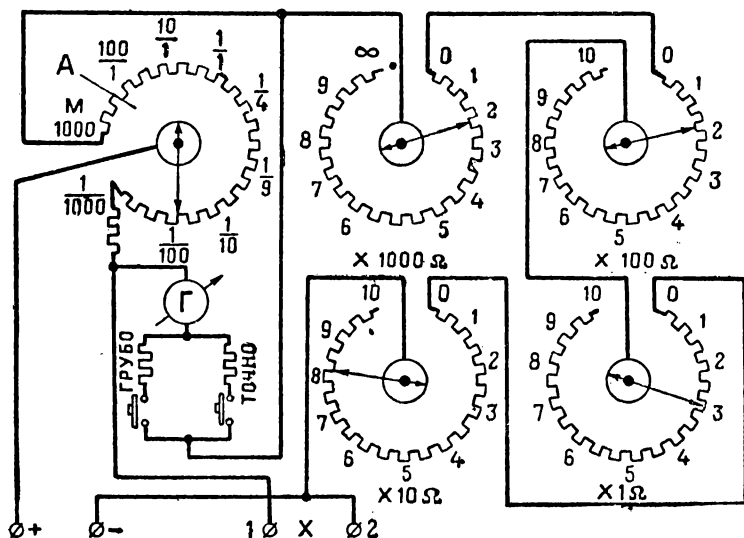


Рис. 86. Принципиальная схема универсального моста постоянного тока типа УМВ-49

Три плеча моста составлены из двух магазинов сопротивлений рычажного типа. Магазин сопротивлений A (рис. 86) путем установления рычага на тот или иной контакт дает возможность установить то или иное постоянное отношение балансных плеч в пределах от

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{1000} \text{ до } \frac{r_1}{r_2} = \frac{100}{1}.$$

Сравнительное сопротивление r_3 состоит из четырех последовательно соединенных магазинов сопротивлений и может быть установлено в пределах $1 \div 9999$ ом ступенями

через один ом. Неизвестное сопротивление подключается к зажимам *хх*.

Мостом УМВ-49 можно измерить сопротивления от 0,01 до 10^6 ом. Точность измерений до $\pm 0,5\%$.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство омметров М-57 и М-471 и порядок пользования ими.

2. Измерить 6—10 сопротивлений при помощи омметров М-57 и М-471.

Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

Наименование измеряемых сопротивлений	Результаты измерений		
	М-57	М-471	УМВ-49

3. Измерить те же сопротивления при помощи моста УМВ-49 и результаты измерений записать в табл. 1.

4. В отчете по практической работе:

а) сделать выводы, в которых дать сравнительную характеристику измерений по пп. 2 и 3;

б) указать, какой из методов измерения является наиболее точным и почему.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 21

ПРОВЕРКА ГРАДУИРОВКИ АМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ

Цель. Получить практические навыки в проверке градуировки амперметров и вольтметров.

Материальное обеспечение:

1. Источники электрической энергии постоянного тока с напряжением:

а) $U = 12$ в 1

б) $U = 120$ в 1

2. Амперметр переменного тока с пределом измерения

0—2,5 а, класс 0,5 1

3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—3 а, класс 1,5 1
4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—150 в, класс 1,0 1
5. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—150 в, класс 1,5 1
6. Реостат ($R=120\text{ ом}$, $I=2,45\text{ а}$) 1
7. Реостат ($R=24\text{ ом}$, $I=2\text{ а}$) 1

Теория и практика показывают, что все электроизмерительные приборы не сохраняют со временем точности измерений независимо от того, применяются ли они в работе или хранятся на складе.

Это вызывается целым рядом факторов, например: окислением контактов и паяк во внутренней схеме, ослаблением токоподводящих пружинок, притуплением кернов подвижной системы и т. п.

Поэтому все измерительные приборы должны периодически проходить проверку.

Проверка измерительного прибора (амперметра, вольтметра) производится обычным методом сравнения его показаний с показаниями образцового (эталонного) прибора, класс точности которого должен быть выше, чем класс точности проверяемого прибора.

Для проверки на постоянном токе в качестве эталонных приборов должны применяться приборы магнитоэлектрической системы, а для проверки на переменном токе — приборы электродинамической или электромагнитной системы.

Если амперметры или вольтметры многопредельные, то проверка градуировки производится на каждом пределе отдельно.

Проверка градуировки амперметров и вольтметров методом сравнения показаний приборов с показаниями эталонных приборов производится по схемам, изображенным на рис. 87 и 88.

Реостаты r_1 и r_2 , включенные в испытательные схемы, позволяют осуществлять плавную регулировку тока и напряжения, так как один из них высокоомный (r_1), другой низкоомный (r_2). Реостат r_1 предназначается для грубой регулировки, а реостат r_2 — для точной регулировки.

Следует иметь в виду, что в разных местах шкалы погрешность будет различной, однако одна из них будет наибольшей.

Наибольшая погрешность, видимо, будет характеризовать совершенство конструкции прибора, точнее, она будет определять класс точности прибора. Прибор относится к тому классу точности, за пределы которого не выходит его наибольшая приведенная погрешность $\beta_{\text{макс}}$.

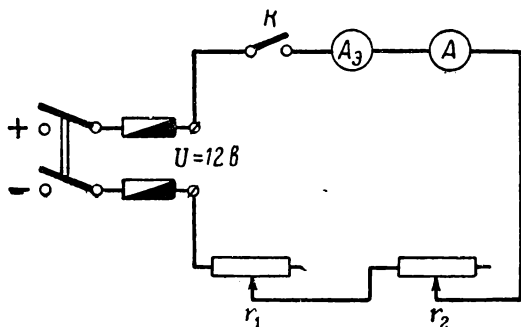


Рис. 87. Схема исследуемой цепи проверки градуировки амперметра

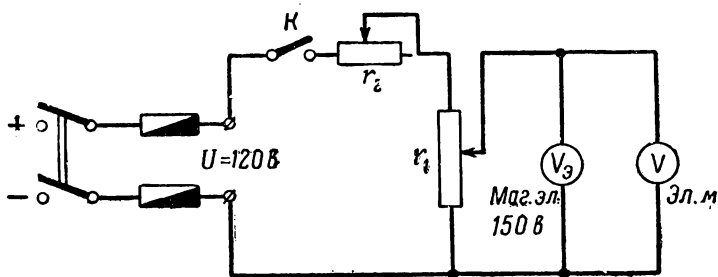


Рис. 88. Схема исследуемой цепи проверки градуировки вольтметра

Приведенной погрешностью β называют отношение абсолютной погрешности ΔI к предельному значению измеряемой величины I_H , которую может измерить прибор, выраженный в процентах:

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_H} 100\%; \quad (21.1)$$

$$\beta = \frac{I_{\text{изм}} - I_{\text{эт}}}{I_H} 100\%. \quad (21.2)$$

Очевидно, приведенная погрешность будет наибольшей тогда, когда абсолютная погрешность достигнет максимального значения:

$$\beta_{\text{макс}} = \frac{\Delta I_{\text{макс}}}{I_{\text{н}}} 100\% \quad (21.3)$$

или

$$\beta_{\text{макс}} = \frac{(I_{\text{изм}} - I_{\text{эт}})_{\text{макс}}}{I_{\text{н}}} 100\%, \quad (21.4)$$

где

$\beta_{\text{макс}}$ — наибольшая приведенная погрешность (в процентах);

$I_{\text{изм}}$ — ток, измеряемый прибором;

$I_{\text{эт}}$ — ток, измеряемый эталонным прибором;

$\Delta I_{\text{макс}} = (I_{\text{изм}} - I_{\text{эт}})_{\text{макс}}$ — наибольшая абсолютная погрешность;

$I_{\text{н}}$ — наибольший ток, который может измерить прибор.

При определении приведенной погрешности β опытным путем необходимо помнить, что она определяется только в рабочей части шкалы. Если шкала прибора неравномерная, то ее рабочая часть начинается от 25% номинального предела измерения. При равномерной шкале рабочая часть считается по всей длине шкалы.

При сравнении показаний эталонного прибора с испытуемым придется вносить поправку C , которая может быть равной нулю, положительной и отрицательной.

Поправкой C называют величину, которую нужно алгебраически прибавить к показаниям прибора $I_{\text{изм}}$, чтобы получить истинное значение измеряемой величины $I_{\text{эт}}$:

$$C + I_{\text{изм}} = I_{\text{эт}}, \quad (21.5)$$

откуда

$$C = I_{\text{эт}} - I_{\text{изм}}. \quad (21.6)$$

С другой стороны, известно, что абсолютная погрешность ΔI — разность между показанием испытуемого прибора $I_{\text{изм}}$ и истинным значением измеряемой величины $I_{\text{эт}}$, т. е.

$$\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{эт}}. \quad (21.7)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что поправка C численно равна абсолютной погрешности ΔI , взятой с обратным знаком (21.6) и (21.7).

Так как абсолютная погрешность ΔI может принимать как положительное (если $I_{\text{изм}} > I_{\text{эт}}$), так и отрицательное

(если $I_{\text{изм}} < I_{\text{эт}}$) значения, то и поправка C соответственно будет либо положительной, либо отрицательной.

Если измеряемый ток $I_{\text{изм}}$ окажется равным току, измеренному эталонным прибором $I_{\text{эт}}$, то абсолютная погрешность ΔI будет равна нулю (21.7). Следовательно, в этом случае поправка C будет отсутствовать, т. е. $C=0$ (21.6).

Результаты проверки заносятся в паспорт прибора или строится график поправок, на котором в масштабе по

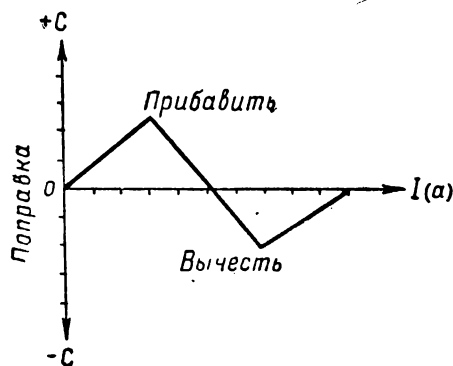


Рис. 89. График поправок для амперметра

горизонтальной оси откладываются показания испытуемого прибора в пределах шкалы, а по вертикальной оси поправка (рис. 89).

После проверки прибора им можно пользоваться только с учетом тех поправок, которые внесены в таблицу поправок или графика поправок.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рис. 87. Изменяя величину тока при помощи реостатов r_1 и r_2 и фиксируя его величину по проверяемому прибору через каждое большое деление от нуля до предела измерения I_n , записать показания приборов в табл. 1.

Таблица 1

Показание прибора $I_{\text{изм}}$ a	Показание эталонного прибора, $I_{\text{эт}}$ a	Абсолютная погрешность, ΔI a	Поправка, C a	Приведенная погрешность β %

2. Собрать схему согласно рис. 88. Используя тот же прием испытания, который изложен в п. 1, записать опытные данные в табл. 2.

Таблица 2

Показание прибора $U_{изм}$ в	Показание эталонного прибора $U_{эт}$ в	Абсолютная погрешность ΔU в	Поправка C в	Приведенная погрешность β %

3. На основании опытных данных построить в масштабе график поправок как для амперметра $C=f(I_{изм})$, так и для вольтметра $C=f(U_{изм})$.

Сравнить наибольшую приведенную погрешность приборов $\beta_{макс}$ с классом точности, указанным на них.

4. Построить кривую приведенной погрешности β в зависимости от измеряемого тока $I_{изм}$:

$$\beta = f(I_{изм}).$$

5. В отчете по практической работе привести схемы испытания, опытные данные и графики. Сделать основные выводы по работе.

Указать, в какой части шкалы прибора приведенная погрешность β будет наименьшая, а в какой наибольшая.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 22

ИЗМЕРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ Ц-20

Цель. Получить практические навыки в измерении тока, напряжения и сопротивлений ампервольтметром Ц-20.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии переменного тока с $U=12$ в 1
2. Источник электрической энергии переменного тока с $\sim U=127$ в 1
3. Измерительный прибор Ц-20 (ампервольтметр) 1

- | | |
|---|----|
| 4. Магазин сопротивлений | 1 |
| 5. Набор сопротивлений | 10 |
| 6. Радиолампы разные | 5 |
| 7. Постоянное сопротивление ($R=8, 12, 24 \text{ ом}; I=1 \text{ а}$) | 1 |

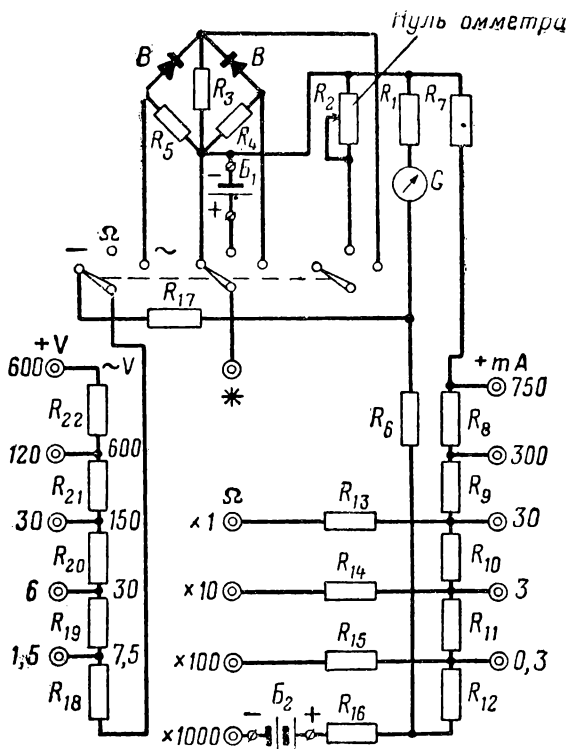


Рис. 90. Принципиальная схема ампервольт-омметра Ц-20

Ампервольтметр Ц-20 представляет собой переносный технический многопредельный комбинированный прибор детекторной системы с непосредственным отсчетом, предназначенный для измерений: величины тока и напряжения постоянного тока, напряжения в цепях переменного тока частотой 50 гц и сопротивлений проводников.

Прибор широко используется в технике связи и особенно для измерений напряжений в цепях радиоаппаратуры. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 90.

Как видно из схемы, расширение пределов измерения осуществляется с помощью набора шунтов и добавочных сопротивлений, расположенных в корпусе прибора.

Выпрямление переменного тока производится купроксным выпрямителем. Погрешность прибора не превосходит $\pm 4\%$. Измерительный прибор имеет три шкалы: для измерения сопротивлений Ω (рабочей частью шкалы считается участок между метками $2 \div 0,5$), измерения напряжения переменного тока $\sim V$ и величины тока и напряжения постоянного тока VA . Для перехода с одного рода измерений величины на другой служит поворотный переключатель на три положения — (минус), Ω и \sim . Установка стрелки прибора на нулевую отметку по шкалам VA , \sim , V и на отметку ∞ производится корректором, а установка нуля по шкале Ω — электрическим шунтом, ручка которого имеет надпись НУЛЬ ОММЕТРА. Источники питания располагаются в специальной камере прибора.

Пользование прибором

1. Переключатель рода измерений переводить из одного положения в другое только при отключенном приборе.

2. Перед измерением проверить, находится ли стрелка прибора на левой крайней отметке шкалы. Если необходимо установить стрелку на эту отметку, то это осуществляется с помощью корректора, который расположен на лицевой стороне измерителя.

3. Измерения прибором, как омметром, следует производить в обесточенной цепи.

4. Для удлинения срока службы источников питания омметра не рекомендуется долго держать свободные концы проводов прибора подключенными к измеряемому сопротивлению, а также замкнутыми между собой.

Измерение напряжения и величины постоянного тока, измерение напряжения переменного тока

1. Устанавливают переключатель рода измерения в положение \dashv (минус) или \sim в зависимости от того, какое измерение хотят осуществить.

2. Вставляют щипселем одного из проводников в гнездо, обозначенное * (звездочка), являющееся общим для всех измерений (при измерении постоянного тока это гнездо будет являться отрицательным зажимом прибора).

3. Второй щетпсель проводника вставляют в соответствующее гнездо ряда —mA, +V или ~V. Нужный предел измерения выбирается с запасом и в процессе измерений уточняется.

4. Свободные концы обоих проводников (щупы) присоединяют к цепи измеряемого тока или напряжения, после чего производят измерения.

5. Опытные данные снимаются по шкалам прибора, имеющим знаки:

— для постоянного тока и напряжения VA;

— для напряжения переменного тока V.

По окончании измерений отключить прибор от проверяемой цепи.

Измерение сопротивления постоянному току производят в таком порядке:

1. Устанавливают переключатель измерений в положение, обозначенное знаком Ω .

2. Вставляют щетпсель одного проводника в гнездо *, а щетпсель другого проводника в одно из гнезд ряда Ω , соответствующее выбранному пределу измерения.

3. Перед началом измерения устанавливают нуль омметра, для чего замыкают накоротко свободные концы проводников и вращением ручки «нуль омметра» устанавливают стрелку на нуль шкалы Ω .

4. Размыкают концы проводников и присоединяют их к выводам измеряемого сопротивления.

5. Производят отсчет по шкале Ω . Если отсчет производится на участке, расположенном справа от отметки 0,1, полученную величину следует умножить на множитель выбранного предела измерения. Если отсчет производился на участке, расположенном слева от отметки 0,1, полученную величину следует умножить на множитель предела измерений и на 1000. Во всех случаях результат получается в омах.

6. При переходе от одного предела измерения к другому снова производят установку стрелки на нуль шкалы, как описано в п. 3.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принципиальную схему ампервольтметра Ц-20.

По схеме рассмотреть цепи токопрохождения:

а) цепь вольтметра для измерения напряжения постоянного тока;

б) цепь вольтметра для измерения напряжения переменного тока;

в) цепь амперметра для измерения величины постоянного тока;

г) цепь омметра для измерения сопротивления постоянному току.

2. Рассмотреть лицевую сторону прибора:

а) шкалы со знаками Ω , VA, \sim ;

б) поворотный переключатель рода измеряемой величины с положениями — (минус), Ω и \sim ;

в) корректор;

г) ручку НУЛЬ ОММЕТРА;

д) ряды гнезд с различными пределами измерения;

е) гнездо со знаком *.

3. Определить цену деления любой шкалы при различных пределах измерения.

4. Проверить установку стрелки на нулевую отметку (или на ∞). Если установка сбита, то установить при помощи корректора.

5. Вставить штепсели проводников в гнездо * и одно из гнезд ряда Ω . Установить стрелку прибора на нуль омметра.

6. Изучить правила пользования прибором Ц-20.

7. Собрать электрическую цепь согласно рис. 91 и произвести измерения величины напряжения постоянного

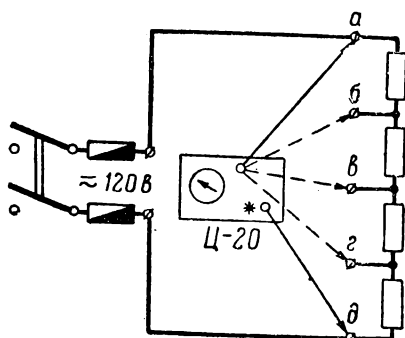


Рис. 91. Схема исследуемой цепи для измерения напряжения прибором Ц-20

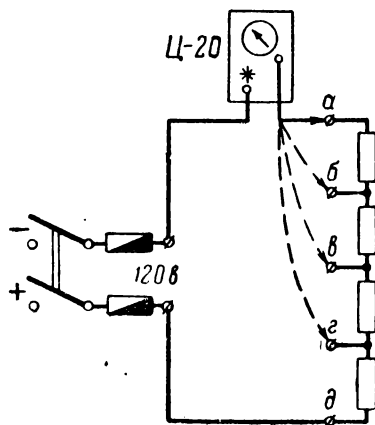


Рис. 92. Схема исследуемой цепи для измерения тока прибором Ц-20

тока (установив предварительно поворотный переключатель рода измерений в положение —).

Используя электрическую цепь рис. 91, подключить ее к источнику переменного напряжения 127 в и произвести измерения напряжения переменного тока (установив предварительно переключатель рода измерений в положение ~).

Результаты измерений записать в табл. 1.

Таблица 1

r , ом	Постоянный ток		Переменный ток
	I , мА	U , в	U , в
$r_{ад}$			
$r_{бд}$			
$r_{вд}$			
$r_{гд}$			

8. Согласно схеме рис. 92 произвести измерение величины постоянного тока и результаты показаний прибора занести в табл. 1.

9. Измерить величины сопротивлений постоянному току: магазина сопротивлений, неводовочных сопротивлений и нити накала радиоламп.

Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

Наименование сопротивлений	Величина сопротивления, ом			
Сопротивления $r_{ад}$, $r_{бд}$, $r_{вд}$, $r_{гд}$				
Неводовочные сопротивления	$r_1 =$	$r_2 =$	$r_3 =$	$r_4 =$
Сопротивление нити накала ламп				

В выводах по работе ответить на вопросы:

а) как определяется цена деления прибора при различных пределах измерения;

- б) на какие пределы измерения рассчитан прибор:
 — при измерениях постоянного тока и напряжения,
 — при измерениях переменного напряжения,
 — при измерениях сопротивлений;
 в) каково назначение двух источников питания, обозначенных на схеме ампервольтметра B_1 и B_2 (рис. 90).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 23

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОСТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель. Получить практические навыки в измерении сопротивлений станционных заземлений при помощи моста переменного тока.

Материальное обеспечение:

1. Измеритель полевых линий связи ИПЛ-48 1
2. Заземления (или их эквиваленты) с сопротивлением не более 1000 ом каждое 3

Для измерения сопротивлений заземлений применяется мост переменного тока тональной частоты с емкостными плечами, принципиальная схема которого показана на рис. 93.

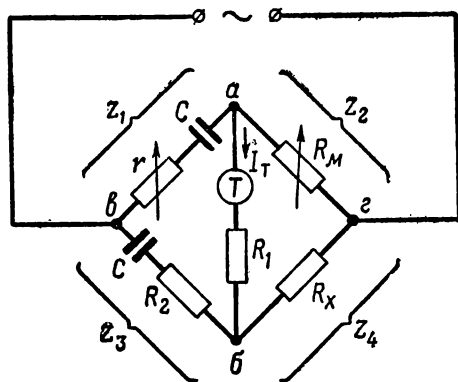


Рис. 93. Принципиальная схема моста переменного тока

В первое и третье плечи моста включены конденсаторы одинаковой емкости C , во второе плечо — сравнительное сопротивление R_M , а четвертым плечом является сопротивление измеряемого заземления R_X .

Мост считается уравновешенным, если ток в телефоне I_T , включенном в диагональ ab , равен нулю:

$$I_T = 0. \quad (23.1)$$

Отсутствие тока I_T в телефоне возможно, если в любой момент времени потенциалы точек $a — \varphi_a$ и $b — \varphi_b$ будут равны друг другу или когда разность потенциалов $(\varphi_a — \varphi_b)$ равна нулю:

$$U_{ab} = \varphi_a — \varphi_b = 0. \quad (23.2)$$

Чтобы выполнить условие (23.2), необходимо соблюдение следующих равенств:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3, \quad (23.3)$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3, \quad (23.4)$$

где Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 — полные сопротивления соответствующих плеч моста;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ — фазы падений напряжений на соответствующих плечах моста.

Применительно к рассматриваемой схеме

$$Z_1 = \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad (23.5)$$

$$Z_2 = R_m; \quad (23.6)$$

$$Z_3 = \sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}; \quad (23.7)$$

$$Z_4 = R_x. \quad (23.8)$$

Так как R_x и R_m — активные сопротивления, то

$$\varphi_2 = \varphi_4 = 0. \quad (23.9)$$

Тогда условия равновесия моста будут иметь вид

$$R_x \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R_m \sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (23.10)$$

и

$$\varphi_1 = \varphi_3. \quad (23.11)$$

Эти условия будут удовлетворены, если

$$r = R_2 \quad (23.12)$$

и

$$R_x = R_m. \quad (23.13)$$

Таким образом, если изменением сравнительного сопротивления R_m (магазина сопротивлений) и изменением сопротивления r мы добьемся отсутствия (практически минимума) звука в телефоне, т. е. равновесия моста, то величина сопротивления измеряемого заземления (R_x) может быть отсчитана непосредственно по магазину сопротивлений (R_m).

Измеритель полевых линий связи ИПЛ-48 представляет собой технический испытательный и измерительный прибор, который служит для контрольных и разовых измерений полевых и воздушных линий связи. Наряду с другими видами измерений данным прибором можно производить также измерение сопротивлений стационарных заземлений методом моста переменного тока тональной частоты.

Прибор ИПЛ-48 состоит из двух переносных упаковок: измерительной и питания. Питание прибора осуществляется от двух батарей БАС-80 и четырех элементов ЗС, находящихся в упаковке питания.

Переменное напряжение тональной частоты 800 гц создается ламповым генератором с самовозбуждением, находящимся в измерительной упаковке. К прибору ИПЛ-48 прилагаются: головные телефоны, два проводника, два проводника с остроконечными щупами, два проводника с зубчатыми зажимами, запасная радиолампа 2Ж27 и описание прибора со схемами.

Измерение сопротивления заземлений при помощи ИПЛ-48 производится в следующей последовательности:

1. К зажиму ЗЕМЛЯ 1 присоединяется измеряемое заземление.
2. К зажимам ВСПОМОГАТЕЛЬН. ЗАЗЕМЛЕНИЯ 2 и 3 присоединяются вспомогательные заземления.
3. В универсальные зажимы ТЕЛЕФОН МОСТА включаются телефоны.
4. Ключ K_1 ставится в положение ВЫКЛ.
5. Ключи K_2 и K_3 могут стоять в любом положении.
6. Главный переключатель (контроллер) ставится в положение ИЗМ. ЗЕМЛИ.
7. Фишка кабеля блока питания соединяется с колодкой питания на измерительной упаковке.

В результате указанных действий образуется принципиальная схема измерений, показанная на рис. 94, где R_x — сопротивление измеряемого заземления, R_1 и R_2 — сопротивления вспомогательных заземлений.

8. Попеременным изменением сравнительного сопротивления R_M и положения движка потенциометра ДОП. РЕГ. ЗЕМЛИ добиваются минимума звука в телефоне.

9. Величина сопротивления измеряемого заземления (R_x) отсчитывается непосредственно по магазину сравнительных сопротивлений (R_M):

$$R_x = R_M. \quad (23.14)$$

После окончания измерений телефоны обязательно отключаются.

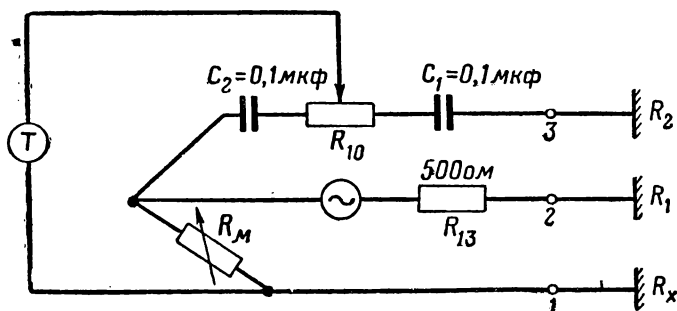


Рис. 94. Принципиальная схема измерения сопротивления заземления мостом переменного тока

Следует иметь в виду, что измерение сопротивлений заземлений при помощи ИПЛ-48 возможно только в том случае, если сопротивление вспомогательного заземления, подключаемого к зажиму 3 ВСПОМ. ЗАЗЕМЛЕНИЯ, не превышает 1000 Ом. В тех случаях, когда сопротивление вспомогательных и измеряемых заземлений более 1000 Ом, измерения надо производить по методу трех сумм.

Порядок выполнения работы

1. На панели измерительной упаковки определить расположение зажимов ЗЕМЛЯ, ВСПОМ. ЗАЗЕМЛЕНИЯ, ТЕЛ. МОСТА, ключа K_1 для подключения «+» или «—» батарей к мосту, ключа K_2 для переключения соотношения балансных плеч моста, ключа K_3 чувствительности нулевого индикатора, главного переключателя (контроллера), потенциометра плавной регулировки ДОП. РЕГ. ЗЕМЛИ и четыре рукоятки переключателей магазина сопротивлений R_M .

2. Открыть упаковку питания, извлечь из нее кабель питания и телефоны. Проверить правильность подключения батареи и элементов к зажимам панели упаковки питания (согласно обозначениям, указанным на панели).

3. Фишку кабеля питания соединить с колодкой на панели измерительной упаковки.

4. К соответствующим зажимам подключить измеряемое и вспомогательные заземления.

5. Главный переключатель (контроллер) и ключи K_1 , K_2 , K_3 поставить в требуемое положение.

6. В зажимы ТЕЛ. МОСТА включить телефон.

7. Попеременным изменением сравнительного сопротивления R_m и поворотом ручки потенциометра ДОП. РЕГ. ЗЕМЛИ добиться минимума звука в телефоне.

8. По положению ручек переключателей магазина сопротивлений R_m прочесть и записать результат измерения.

9. Отключить телефон от измерительной упаковки.

10. Измерение заземления в указанной последовательности проделать три раза.

11. По результатам измерения определить величину сопротивления заземления как среднеарифметическое трех измерений:

$$R_x = \frac{R_{x1} + R_{x2} + R_{x3}}{3} . \quad (23.15)$$

12. Составить отчет установленной формы, в котором отразить:

а) схему моста и условия его равновесия;

б) порядок измерения сопротивления заземления при помощи ИПЛ-48;

в) результаты измерения и расчета среднеарифметического значения измеряемого сопротивления заземления.

ЧАСТЬ II

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРОПИТАНИЮ

* * *

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 24

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель. Получить практические навыки в испытании генератора с параллельным возбуждением и снятии характеристик: внешней и холостого хода.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U=220$ в | 1 |
| 2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—10 а | 1 |
| 3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—1 а | 1 |
| 4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—250 в | 1 |
| 5. Реостат ($R=500$ ом, $I=0,6$ а) | 1 |
| 6. Ламповый реостат на 9 ламп (лампа: $P=96$ вт, $U=220$ в) | 1 |
| 7. Тахометр 0—3000 об/мин | 1 |
| 8. Генератор типа ПН-5 ($U=220$ в, $P=0,75$ квт, $n=2750$ об/мин) | 1 |

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 95.

Для удобства сборки цепи все концы от обмоток машины выведены на монтажную колодку (рис. 96).

В качестве потребителя электрической энергии используется ламповый реостат (рис. 95), который позволяет в определенных пределах скачкообразно изменять сопротивления, а следовательно, и величину тока I во внешней цепи.

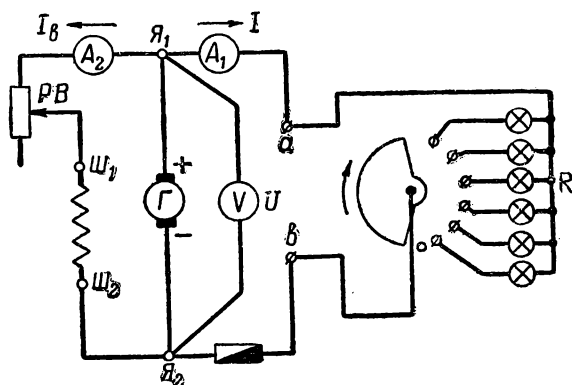


Рис. 95. Принципиальная схема генератора с параллельным возбуждением:
а, в — зажимы лампового реостата

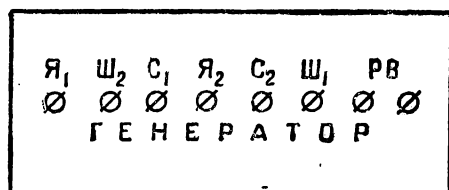


Рис. 96. Монтажная колодка:
+ Я₁, — Я₂ — токоотводы от щеток (обмотка якоря); С₁, С₂ — концы серийной обмотки; Ш₁, Ш₂ — концы шунтовой обмотки; РВ — реостат возбуждения

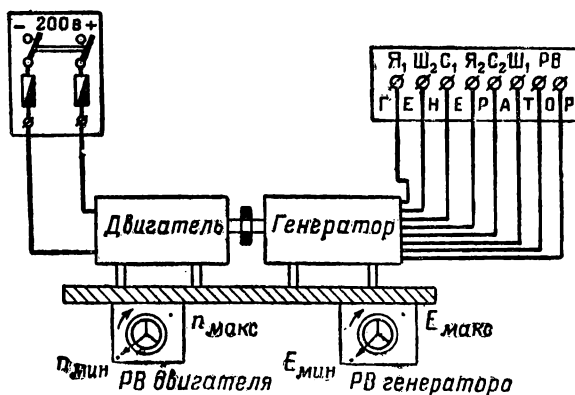


Рис. 97. Стенд для испытания генератора

В работу генератор приводится от электродвигателя, число оборотов n которого можно регулировать от минимума n_{\min} до максимума n_{\max} при помощи реостата возбуждения РВ двигателя (рис. 97).

Рассмотрим, как зависит электродвижущая сила (ЭДС) генератора E от магнитных свойств машины, т. е. в конечном счете от значения тока возбуждения I_b при холостом ходе (внешняя цепь отключена от зажимов генератора, ток нагрузки равен нулю $I=0$). Такая зависимость снимается при постоянном номинальном числе оборотов якоря n_n и носит название характеристики холостого хода:

$$E = f(I_b) \quad (24.1)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $I = 0$.

Электродвижущая сила генератора вычисляется, как известно, по следующей формуле:

$$E = cn\Phi, \quad (24.2)$$

где E — электродвижущая сила генератора;

c — постоянная величина, характеризующая конструкцию машины;

n — число оборотов якоря в минуту;

Φ — магнитный поток машины.

Учитывая, что на практике число оборотов якоря n поддерживается постоянным, можно сказать, что ЭДС генератора E определяется лишь значением магнитного потока машины Φ , который в свою очередь зависит от значения тока возбуждения I_b и характера намагничивания стали генератора.

На рис. 98 изображена характеристика холостого хода (24.1).

При $I_b = 0$ (один из концов шунтовой обмотки возбуждения $Ш_1$ или $Ш_2$ отключен от клеммы $Я_1$ или $Я_2$, рис. 95) значение ЭДС генератора E_1 мало, так как магнитный поток машины Φ определяется

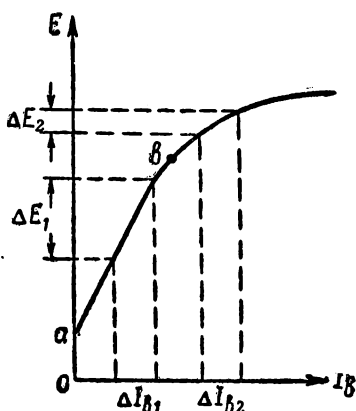


Рис. 98. Изменения электродвижущей силы генератора E при изменении тока возбуждения I_b

только значением магнитного потока $\Phi_{\text{ост}}$ остаточного магнетизма:

$$E_1 = c n \Phi_{\text{ост}} \quad (24.3)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $I = 0$. Это нетрудно понять, если вспомнить, что $\Phi_{\text{ост}}$ будет самым минимальным из всех магнитных потоков Φ , которые может создать генератор при всех его режимах работы.

На участке *ав* с ростом тока возбуждения I_b , а следовательно, и магнитного потока машины Φ прямо пропорционально возрастает ЭДС генератора E . Начиная с точки перегиба *в* линейная зависимость между E и I_b нарушается, так как значение магнитной индукции B стали растет не пропорционально значению намагничивающего тока I_b , т. е. E растет значительно медленнее. Прирост магнитного потока машины Φ с ростом тока возбуждения I_b падает, и поэтому дальнейшее возрастание ЭДС генератора E уменьшается.

При рассмотрении зависимости $E = f(I_b)$ видно, что на прямолинейной части кривой изменение величины тока ΔI_b вызывает возрастание ЭДС E на ΔE_1 ; такое же изменение тока ΔI_b в начале области магнитного насыщения вызывает меньшее нарастание ЭДС E , а именно ΔE_2 , т. е. при $\Delta I_{b_1} = \Delta I_{b_2}$ $\Delta E_1 > \Delta E_2$. Из этого можно сделать вывод, что регулировка ЭДС (или напряжения U на зажимах генератора) машины E за счет изменения тока возбуждения I_b в случае работы за точкой перегиба *в* относительно невелика, так как рост магнитного потока Φ идет почти только вследствие увеличения тока возбуждения I_b , величина же магнитной индукции B стали практически остается почти неизменной.

На практике в целях лучшей регулировки ЭДС генератора E точку *в* выбирают так, чтобы она соответствовала номинальному напряжению U_n генератора.

Пределы регулировки напряжения генератора от минимума $U_{\text{мин}}$ до максимума $U_{\text{макс}}$ при сохранении постоянства числа оборотов якоря определяются величиной сопротивления реостата возбуждения, который входит в комплект машины.

Второй характеристикой машины является внешняя характеристика, которая показывает, как изменяется напря-

жение на зажимах генератора U в зависимости от величины тока I во внешней цепи:

$$U = f(I) \quad (24.4)$$

при $n = n_{\text{в}} = \text{const}$ и $r_{\text{в}} = \text{const}$. В зависимости от степени насыщенности стали генератора внешние характеристики получаются различными (рис. 99).

Все три характеристики показывают, что с ростом величины тока во внешней цепи I напряжение на зажимах генератора U падает.

Это объясняется следующими причинами:

— ростом падения напряжения на сопротивлении цепи обмотки якоря $I_{\text{я}} r_{\text{я}}$;

— возрастанием влияния реакции якоря, которое, как известно, уменьшает магнитный поток Φ машины, а следовательно, ЭДС генератора E ;

— уменьшением тока возбуждения $I_{\text{в}}$ вследствие снижения напряжения U на зажимах генератора.

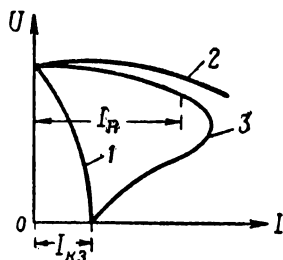


Рис. 99. Семейство внешних характеристик генератора:

1 — машина не насыщена;
2 — машина весьма насыщена;
3 — машина нормально насыщена

$$U = E - I_{\text{я}} r_{\text{я}}; \quad (24.5)$$

$$I_{\text{я}} = I + I_{\text{в}}; \quad (24.6)$$

$$U = E - (I + I_{\text{в}}) r_{\text{я}}; \quad (24.7)$$

$$E = cn\Phi; \quad (24.8)$$

$$I_{\text{в}} = \frac{U}{r_{\text{в}}}. \quad (24.9)$$

$$I = \frac{U}{R}. \quad (24.10)$$

Расчетные уравнения генератора с параллельным возбуждением, приведенные в тексте, именно это и подтверждают.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь (рис. 95), не подключая при этом ламповый реостат.

2. Поставить штурвалы реостатов возбуждения двигателя и генератора в крайнее левое положение (рис. 97).

3. Запустить двигатель (замкнув для этого рубильник) и установить с помощью реостата возбуждения номинальное число оборотов в минуту n_n , при котором нормально работает генератор. Число оборотов двигателя замерить тахометром.

4. Остановить двигатель (выключив для этого рубильник) и отключить конец шунтовой обмотки $Ш_2$ от якорной обмотки $Я_2$; вновь запустить двигатель. Записать значение ЭДС генератора E_1 при $I=0$ и $I_B=0$.

5. Остановить двигатель и подсоединить $Ш_2$ к $Я_2$. Запустить двигатель и, поддерживая при каждом измерении постоянное число оборотов n (при помощи реостата возбуждения двигателя), записать значение ЭДС генератора при нарастании тока возбуждения I_B .

Ток возбуждения I_B изменять при помощи вращения штурвала реостата возбуждения генератора слева направо от минимума до максимума так, чтобы получить 6—8 опытных данных.

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица I

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); text-align: center;"> Номер измерения Измеряемые величины </div>	1	2	3	4	5	6	7	8	Примечание
$I_B, \text{ ма}$									
$E, \text{ в}$									

Штурвалы реостатов возбуждения поставить в крайнее левое положение и остановить двигатель.

По результатам измерений построить в масштабе характеристику холостого хода:

$$E = f(I_B)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $I = 0$.

Сделать вывод о возможности регулировки ЭДС генератора E при изменении тока возбуждения I_v , а также указать границы относительно медленного и быстрого изменения ее.

6. К собранной схеме генератора подключить ламповый реостат (клеммы реостата $ав$, штурвал реостата поставить в крайнее левое положение, рис. 95). Запустить двигатель и, медленно вращая штурвал реостата возбуждения $PВ$ генератора, установить его в крайнее правое положение (реостат $PВ$ выведен).

При помощи реостата возбуждения двигателя увеличить число оборотов n генератора до тех пор, пока ЭДС генератора E не станет равной значению, указанному преподавателем. Тахометром замерить число оборотов в минуту, которое будет номинальным для данного генератора.

Опытные данные записать в табл. 2.

7. Меняя величину сопротивления внешней цепи R (вращая штурвал лампового реостата слева направо), записать значение тока во внешней цепи I и напряжение U на зажимах генератора, не меняя при этом величину сопротивления цепи возбуждения генератора r_v и поддерживая при каждом измерении постоянное число оборотов n двигателя.

Таблица 2

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); transform-origin: center;"> Номер измерения Измеряемые величины </div>	1	2	3	4	5	6	7	8	Примечание
$I, а$									$n = n_n = \text{const}$ $r_v = \text{const}$
$U, в$									

Поставить в левое крайнее положение штурвалы:

- а) реостата возбуждения генератора;
- б) реостата возбуждения двигателя;
- в) лампового реостата.

Остановить двигатель (выключить рубильник).

По опытными данным построить в масштабе внешнюю характеристику:

$$U = f(I)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $r_v = \text{const}$.

Определить, как зависит величина напряжения на зажимах генератора U от величины тока I во внешней цепи, и пояснить ход кривой.

Вычислить, на сколько процентов снизилось напряжение U на зажимах генератора от холостого хода до номинальной нагрузки (ламповый реостат включен полностью), по формуле

$$\Delta U = \frac{U_{xx} - U_n}{U_n} 100\%, \quad (24.11)$$

где ΔU — величина процентного изменения напряжения генератора;

$E = U_{xx}$ — ЭДС генератора, равная напряжению при холостом ходе генератора ($I=0$), в;

U_n — напряжение при номинальной нагрузке, в.

Сравнивая полученную кривую $U=f(I)$ при $n=n_n = \text{const}$ и $r_b = \text{const}$ с изображенными кривыми на рис. 99, пояснить, в каком режиме работает испытуемый генератор.

В отчете по работе отразить: паспортные данные о генераторе, схему исследуемой цепи, таблицы опытных данных, графики, построенные по этим данным.

Сделать выводы по полученным графикам и ответить на поставленные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 25

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель. Получить практические навыки в испытании генератора со смешанным возбуждением и снятии характеристик: внешней и регулировочной.

Материальное обеспечение.

Материальная часть и установка для испытания генератора используются те же, что и в практической работе № 24.

Схема исследуемой цепи (генератора с длинным шунтом) изображена на рис. 100.

Внешняя характеристика любого генератора, в том числе и генератора со смешанным возбуждением (рис. 101), определяет, как изменяется напряжение на зажимах генератора U с изменением тока I во внешней цепи при постоянном числе оборотов n и сопротивлении цепи возбуждения r_b :

$$U = f(I)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $r_b = \text{const}$.

Как видно из характеристики, на участке ab с ростом тока нагрузки I напряжение на зажимах генератора U сначала незначительно увеличивается, а потом, спадая, достигает значения напряжения U_{xx} на холостом ходу (точка $в$).

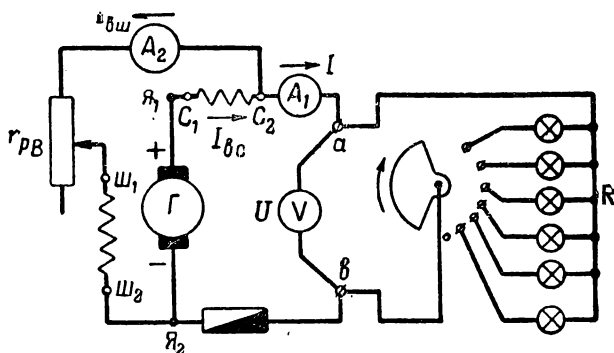


Рис. 100. Принципиальная схема генератора со смешанным возбуждением — a , $б$ —зажимы лампового реостата (остальные обозначения те же, что на рис. 96)

В дальнейшем, начиная с точки $в$, напряжение непрерывно падает и при токе короткого замыкания $I_{кз}$ становится равным нулю.

В пределах номинальной нагрузки от $I=0$ до I_H , на которую рассчитан генератор, изменение напряжения ΔU от точки a до точки $с$ не превосходит 3—6%.

Рассмотрим особенности этой характеристики. Известно, что напряжение на зажимах генератора U и его электродвижущая сила E определяются по формулам:

$$U = E - I_{\gamma} r_{\gamma} - I_{\gamma} r_{\gamma c}; \quad (25.1)$$

$$E = c n \Phi. \quad (25.2)$$

В этом генераторе магнитный поток Φ создается двумя согласно включенными обмотками: серийной (последовательной) и шунтовой (параллельной), т. е. двумя магнитными потоками Φ_c и $\Phi_{ш}$.

Так как на практике

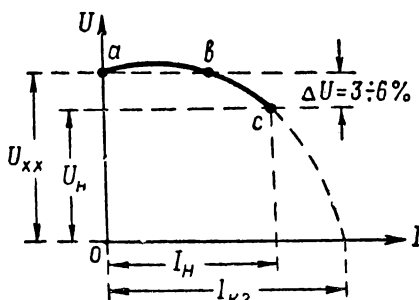


Рис. 101. Внешняя характеристика генератора со смешанным возбуждением

генератор эксплуатируется при постоянном числе оборотов n , то значение ЭДС генератора E зависит в конечном счете от величины магнитного потока Φ и характера намагничивания стали магнитной системы машины. При холостом ходе (внешняя цепь отключена, $I=0$) значение ЭДС генератора $E=U_{xx}$ определится в основном магнитным потоком шунтовой обмотки $\Phi_{ш}$. Хотя по серийной обмотке и протекает ток I_c , равный по величине току, протекающему по шунтовой обмотке $I_{ш}$ (так как обмотки шунтовая и серийная включены последовательно, рис. 100), он не может создать заметный магнитный поток Φ_c ввиду малого значения ампервитков $W_c I_c$ серийной обмотки.

При работе генератора на потребитель с сопротивлением r результирующий магнитный поток Φ возрастает за счет увеличения магнитного потока серийной обмотки Φ_c , так как по виткам серийной обмотки протекает суммарный ток: ток нагрузки I и ток шунтовой обмотки $I_{ш}$:

$$I_{я} = I_c = I + I_{ш}, \quad (25.3)$$

что и приводит к росту ЭДС генератора E . Одновременно с возрастанием тока нагрузки I увеличивается падение напряжения $I_{я}r_{я}$ и $I_{я}r_c$ на сопротивлениях якорной ($r_{я}$) и серийной (r_c) обмоток.

Однако при малых токах I (рис. 101, участок $ав$) во внешней цепи прирост ЭДС ΔE за счет роста магнитного потока серийной обмотки $\Delta \Phi_c$ будет больше, чем соответствующее приращение падения напряжения на сопротивлениях ($r_{я} + r_c$), т. е. $\Delta(I_{я}r_{я} + I_{я}r_c)$. Поэтому напряжение на зажимах генератора U будет больше напряжения U_{xx} на холостом ходу.

Это достигается определенным соотношением числа ампервитков шунтовой и серийной обмоток $W_{ш}I_{ш}$ и $W_c I_c$. В маломощных генераторах, к которым принадлежат и наши испытуемые генераторы, это выражено не столь заметно, как в генераторах относительно большей мощности.

Дальнейшее увеличение тока нагрузки I вызывает сначала постепенное (участок $вс$), а затем быстрое понижение напряжения U на зажимах генератора вследствие значительного роста падения напряжения на сопротивлениях $r_{я}$ и r_c , а также уменьшения ЭДС E генератора за счет снижения величины магнитного потока Φ машины (25.1), (25.2).

Действительно, с ростом тока I все в большей степени начинает сказываться размагничивающее действие реак-

ции якоря; кроме того, уменьшается магнитный поток $\Phi_{\text{ш}}$ шунтовой обмотки (снижается напряжение U на зажимах генератора, уменьшается ток возбуждения $I_{\text{в}}$).

Серийная же обмотка не может дать сколько-нибудь значительного увеличения магнитного потока $\Phi_{\text{с}}$, так как хотя $I_{\text{с}}$ и число ампервитков $W_{\text{с}}I_{\text{с}}$ растут, но магнитная система уже работает в начале области магнитного насыщения, где прирост величины магнитной индукции ΔB стали идет весьма незначительно.

Очевидно, чтобы серийная обмотка могла выполнять функции регулятора напряжения U в смысле стабилизации напряжения U , магнитная система генератора должна работать в режиме слабого магнитного насыщения, т. е. в таком режиме, при котором относительно незначительное изменение тока нагрузки I вызывало бы достаточный прирост магнитного потока серийной обмотки $\Phi_{\text{с}}$, а следовательно, ЭДС генератора E , достаточную для компенсации падений напряжения на $r_{\text{я}}$ и $r_{\text{с}}$.

Напряжение U на зажимах генератора от холостого хода $U_{\text{хх}}=E$ до номинального значения $U_{\text{н}}$ регулируют реостатом возбуждения $r_{\text{РВ}}$, который включен последовательно с шунтовой обмоткой (рис. 100).

Чтобы определить, в каких пределах необходимо регулировать ток возбуждения $I_{\text{в}}$ в шунтовой обмотке для поддержания напряжения U на зажимах генератора постоянным при изменении тока нагрузки I во внешней цепи, снимают регулировочную характеристику:

$$I_{\text{ш}} = f(I)$$

при $U = U_{\text{н}} = \text{const}$ и $n = n_{\text{н}} = \text{const}$.

Опытные данные для построения характеристики $I_{\text{ш}} = f(I)$ снимают при номинальном напряжении генератора $U_{\text{н}}$ и номинальных оборотах якоря $n_{\text{н}}$, которые поддерживают постоянными во время испытания генератора (рис. 102). Регулировочная характеристика $I_{\text{ш}} = f(I)$ показывает, что для получения устойчивого и постоянного напряжения U на зажимах генератора при изменении тока I

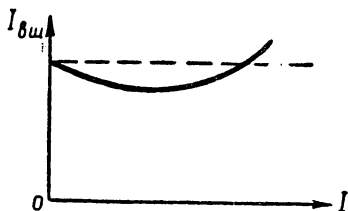


Рис. 102. Регулировочная характеристика генератора со смешанным возбуждением

во внешней цепи в пределах от холостого хода ($I=0$) до номинальной нагрузки I_n регулировать ток возбуждения I_v придется незначительно.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь. Поставить штурвалы всех реостатов (лампового, двигателя и генератора) в левое крайнее положение (рис. 97, 100).

2. Запустить двигатель и, медленно вращая штурвал реостата возбуждения генератора, установить его в крайнее правое положение.

При помощи реостата возбуждения двигателя увеличивать число оборотов якоря n до тех пор, пока ЭДС генератора E не станет равной значению, заданному преподавателем.

Тахометром замерить номинальное для данного генератора число оборотов якоря в минуту n_n .

3. Записать значения тока I во внешней цепи, напряжения U на зажимах генератора, изменяя величину сопротивления внешней цепи R (вращая штурвал лампового реостата слева направо), но не изменяя при этом величину сопротивления цепи возбуждения и поддерживая при каждом измерении постоянное число оборотов двигателя (номинальное).

Результаты измерений записать в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); transform-origin: left top;"> Измеряемая величина </div> <div style="display: inline-block; transform: rotate(45deg); transform-origin: right top;"> Номер измерения </div>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Примечание
I, a										$n_n = \text{const}$ $r_v = \text{const}$
$U, в$										

Поставить штурвалы всех реостатов в левое крайнее положение и остановить двигатель (выключить рубильник).

По опытным данным построить в масштабе внешнюю характеристику

$$U = f(I)$$

при $n = n_n = \text{const}$ и $r_v = \text{const}$.

Определить, как зависит величина напряжения U на зажимах генератора от величины тока I во внешней цепи, пояснить ход кривой.

Вычислить, на сколько процентов снизилось напряжение U на зажимах генератора от холостого хода до номинальной нагрузки I (ламповый реостат включен полностью), по формуле

$$\Delta U = \frac{U_{xx} - U_n}{U_n} 100\%, \quad (25.4)$$

где ΔU — величина процентного изменения напряжения.

Сравнивая полученные опытным путем внешние характеристики генераторов с параллельным и смешанным возбуждениями, пояснить их свойства, достоинства и недостатки.

4. Опытные данные для построения регулировочной характеристики

$$I_{ш} = f(I)$$

при $U = U_n = \text{const}$ и $n = n_n = \text{const}$ снять в следующей последовательности:

а) запустить двигатель и при помощи реостатов возбуждения двигателя и генератора установить значение ЭДС генератора E , заданное преподавателем; тахометром замерить (n_n) номинальное для данного генератора число оборотов якоря в минуту;

б) меняя величину сопротивлений внешней цепи R , записать для каждого значения тока нагрузки I ту величину тока возбуждения I_v , при которой напряжение на потребителе будет номинальным U_n .

Результаты измерений записать в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); transform-origin: left top;"> Номер измерения Измеряемая величина </div>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Примечание
$I, \text{ а}$										$n = n_n = \text{const}$ $U = U_n = \text{const}$
$I_{ш}, \text{ ма}$										

Поставить штурвалы всех реостатов в левое крайнее положение. Остановить двигатель (выключить рубильник).

По опытным данным построить в масштабе регулировочную характеристику

$$I_{\text{ш}} = f(I)$$

при $U = U_{\text{н}} = \text{const}$ и $n = n_{\text{н}} = \text{const}$. Определить границы регулировки тока возбуждения, позволяющие поддерживать в определенных пределах напряжение на зажимах генератора. В отчете представить таблицы опытных данных, графики, а также ответить на поставленные вопросы, связанные с испытанием генератора.

Определить достоинства испытуемого генератора, сравнивая его с шунтовым генератором.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 26

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Цель. Получить практические навыки в испытании двигателя с параллельным возбуждением и снятии характеристик: рабочих и регулировочных.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии постоянного тока с $U = 220 \text{ в}$ 1
2. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0 - 30 \text{ в}$ 1
3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0 - 1 \text{ а}$ 2
4. Амперметр постоянного тока с пределом измерения $0 - 10 \text{ а}$ 2
5. Вольтметр постоянного тока с пределами измерения $0 - 250 \text{ в}$ 2
6. Реостат ($R = 500 \text{ ом}$, $I = 0,6 \text{ а}$) 2
7. Реостат ($R = 240 \text{ ом}$, $I = 3 \text{ а}$) 1
8. Ламповый реостат на 9 ламп (данные лампы: $U = 220 \text{ в}$, $P = 96 \text{ вт}$) 1
9. Двигатель ПН-5 ($U = 220 \text{ в}$, $P = 1 \text{ кВт}$, $n = 2750 \text{ об/мин}$) 1
10. Генератор ПН-5 ($U = 220 \text{ в}$, $P = 0,75 \text{ кВт}$, $n = 2750 \text{ об/мин}$) 1
11. Тахометр $0 - 3000 \text{ об/мин}$ 1

Схема исследуемой цепи изображена на рис. 103. Испытание двигателя производится на той же установке, которая использовалась в работе № 24 (рис. 97).

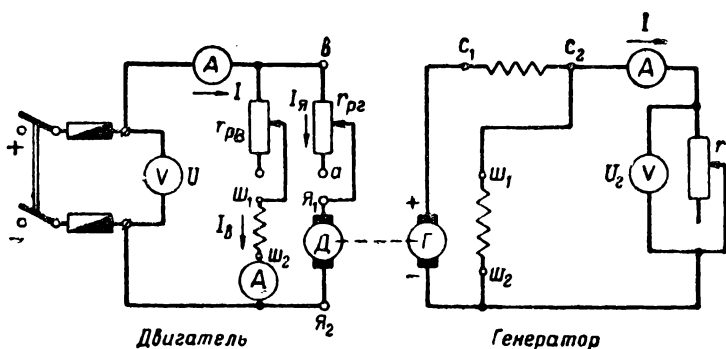


Рис. 103. Принципиальные схемы двигателя с параллельным возбуждением и генератора со смешанным возбуждением

Для удобства сборки цепи все концы обмоток машин (двигателя и генератора) выведены на колодку (рис. 104).

Двигатель не имеет пускового реостата, так как он обладает малой мощностью (до 1 кВт), и поэтому пусковые токи относительно невелики и неопасны для рабочей

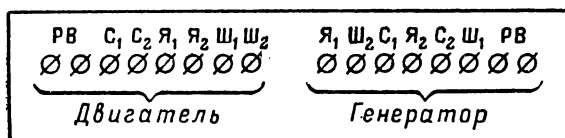


Рис. 104. Монтажная колодка для сборки схем двигателя и генератора

обмотки якоря. Однако для регулировки числа оборотов двигателя в цепь якоря включается регулировочный реостат r_{pp} . Число оборотов двигателя n можно регулировать при помощи реостата возбуждения в пределах от минимума $n_{мин}$ до максимума $n_{макс}$ (рис. 97).

Механической нагрузкой для двигателя служит генератор со смешанным возбуждением, который питает электрической энергией ламповый реостат (рис. 103). При различных токовых нагрузках генератор создает различные по величине тормозные моменты M_T .

Рассмотрим, как осуществляется регулировка числа оборотов n двигателя и от каких факторов она зависит.

Как известно, число оборотов n двигателя определяется следующей формулой:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} r_{\text{я}}}{c\Phi}. \quad (26.1)$$

Из данной формулы видно, что регулировать число оборотов n двигателя можно двумя способами:

— изменением подводимого к якорной обмотке напряжения U ;

— регулированием магнитного потока возбуждения Φ .

Первый способ используется крайне редко и только

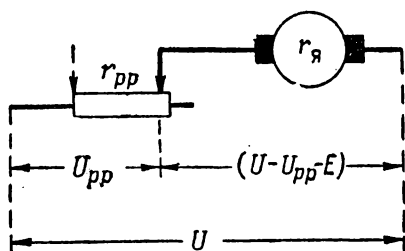


Рис. 105. Распределения напряжений при работе двигателя

в том случае, когда хотя бы, не изменяя напряжение U сети, регулировать обороты реостатом r_{pp} , включенным в цепь якорной обмотки. Действительно, если увеличить сопротивление реостата r_{pp} , то произойдет перераспределение напряжения U в сторону уменьшения падения напряжения на сопротивлении якор-

ной обмотки $r_{\text{я}}$ и возрастания падения напряжения $U_{\text{pp}} = I_{\text{я}} r_{\text{pp}}$ на сопротивлении r_{pp} (рис. 105). Это приведет к тому, что число оборотов n двигателя упадет.

В первоначальный момент увеличение r_{pp} вызовет уменьшение $I_{\text{я}}$ в цепи якоря:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - U_{\text{pp}} - E}{r_{\text{я}}}; \quad (26.2)$$

$$E = cn\Phi, \quad (26.3)$$

где E — противоэлектродвижущая сила электродвигателя. Однако одновременно со снижением тока $I_{\text{я}}$ уменьшится вращающий момент $M_{\text{вр}}$ двигателя, что приведет к спаду числа оборотов n якоря и, как следствие, уменьшению величины противоэлектродвижущей силы E (26.3).

Следовательно, за счет снижения противоэлектродвижущей силы E (26.2) в относительно небольшой интервал времени ток в цепи якоря $I_{\text{я}}$ примет прежнее значение,

хотя двигатель будет работать с меньшим числом оборотов n .

Аналогичные рассуждения справедливы и для случая уменьшения r_{pp} , при котором число оборотов n возрастает, а $I_{я}$ остается неизменным.

Зависимость числа оборотов n двигателя от значения сопротивления реостата r_{pp} , включенного в цепь якоря при постоянном подведенном к зажимам двигателя напряжении $U = U_n$, постоянном тормозном моменте M_T и токе возбуждения I_b , получила название реостатной регулировочной характеристики (рис. 106):

$$n = f(r_{pp})$$

при $U = U_n = \text{const}$, $M_T = \text{const}$ и $I_b = \text{const}$.

Если в этой системе координат построить график зависимости значения тока $I_{я}$ в якорной обмотке от значения сопротивления реостата r_{pp} , то он будет выглядеть, как прямая линия, расположенная параллельно относительно оси r_{pp} , так как $I_{я} = \text{const}$ при всех изменениях r_{pp} .

Второй способ (регулирование числа оборотов n двигателя изменением магнитного потока возбуждения Φ) является основным, так как он обладает рядом преимуществ перед первым.

Известно, что число оборотов n , которое развивает двигатель при постоянном подведенном к его зажимам напряжении $U = U_n$ и постоянном тормозном моменте M_T , в основном зависит только от магнитного потока Φ возбуждения, или, иначе, от тока возбуждения I_b . Влияние $I_{я} r_{pp}$ на изменение числа оборотов n начинает сказываться при относительно больших механических нагрузках, когда $I_{я}$ велико (26.1).

С ростом магнитного потока Φ , а следовательно, и тока возбуждения I_b число оборотов n двигателя уменьшается, и, наоборот, с уменьшением магнитного потока Φ число оборотов n двигателя возрастает (рис. 107). Пре-

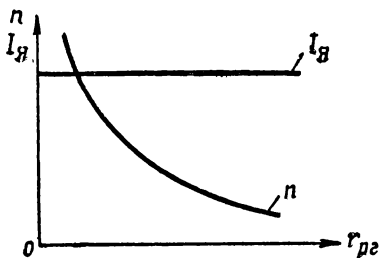


Рис. 106. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения числа оборотов двигателя n и тока в обмотке якоря $I_{я}$ при изменении сопротивления регулировочного реостата r_{pp}

делы регулировки n от n_{\min} до n_{\max} определяются величиной сопротивления реостата $r_{\text{рв}}$ возбуждения.

Анализ формулы (26.1) показывает, что число оборотов n двигателя обратно пропорционально магнитному потоку Φ возбуждения.

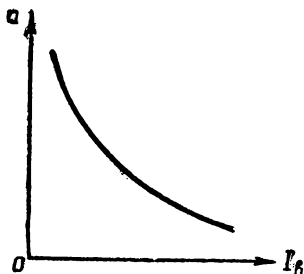


Рис. 107. Изменения числа оборотов двигателя n при изменении тока возбуждения I_b в шунтовой обмотке

При испытании двигателей зависимость числа оборотов n двигателя от тока I_b возбуждения снимается при постоянном номинальном напряжении U_n , подведенном к зажимам двигателя, и постоянном тормозном моменте M_T , равном данному вращающему моменту $M_{\text{вр}}$, который развивает двигатель:

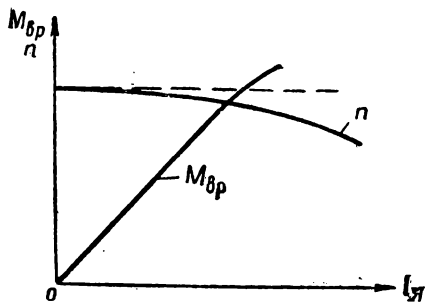
$$n = f(I_b)$$

при $U = U_n = \text{const}$ и $M_T = \text{const}$.

Эта зависимость получила название регулировочной характеристики. Она определяет характер изменения n от I_b для данного типа двигателя.

Важными характеристиками двигателя являются рабочие характеристики, которые показывают, как изменяются вращающий момент $M_{\text{вр}}$ и число оборотов n двигателя от значения тока I_a в якорной обмотке. Эти характеристики снимаются при постоянном номинальном напряжении U_n и постоянном значении тока возбуждения I_b (рис. 108):

$$M_{\text{вр}} = f(I_a)$$



при $U = U_n = \text{const}$ и $I_b = \text{const}$.

Рис. 108. Рабочие характеристики двигателя

Известно, что вращающий момент $M_{\text{вр}}$, развиваемый двигателем с параллельным возбуждением, пропорционален току I_a в обмотке якоря

$$M_{\text{вр}} = k I_a \quad (26.4)$$

где κ — коэффициент пропорциональности. Регулятором тока $I_{\text{я}}$ является противоэлектродвижущая сила E , значение которой определяется величиной тормозного момента $M_{\text{т}}$, приложенного к валу двигателя. Действительно, с ростом тормозного момента $M_{\text{т}}$ уменьшается число оборотов n двигателя, а следовательно, и противоэлектродвижущая сила E (26.3). Одновременно с этим возрастает ток $I_{\text{я}}$ в якорной обмотке двигателя и, как следствие, вращающий момент $M_{\text{вр}}$ (26.3), (26.6) и (26.4):

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{r_{\text{я}}}; \quad (26.5)$$

$$I_{\text{я}} = \frac{U - c n \Phi}{r_{\text{я}}}. \quad (26.6)$$

Наоборот, с уменьшением тормозного момента $M_{\text{т}}$ возрастает число оборотов n двигателя, противоэлектродвижущая сила E и уменьшается ток $I_{\text{я}}$, а следовательно, вращающий момент $M_{\text{вр}}$ (26.3), (26.6), (26.4).

Чтобы построить опытным путем рабочие характеристики, нужно знать, как вычисляется величина вращающего момента $M_{\text{вр}}$ при различных тормозных усилиях, создаваемых в наших испытаниях тормозным действием генератора. Величину вращающего момента $M_{\text{вр}}$ при таком способе воздействия на двигатель определить практически трудно.

Обычно это делается косвенным способом, путем определения мощности P_2 , снимаемой с вала двигателя. Из курса теоретической механики известно, что вращающий момент $M_{\text{вр}}$ и полезная мощность P_2 могут быть определены следующим отношением:

$$M_{\text{вр}} = \frac{1}{1,03} \frac{P_2}{n}, \quad (26.7)$$

где $M_{\text{вр}}$ — вращающий момент, кгм;

P_2 — полезная мощность, снимаемая с вала двигателя, вт;

n — число оборотов двигателя в минуту.

Пренебрегая потерями в генераторе постоянного тока и при этом допуская определенную ошибку, можно считать, что мощность генератора $P_{\text{г}}$ равна полезной мощности P_2 , снимаемой с вала двигателя (в действительности $P_{\text{г}}$ несколько меньше P_2).

Следовательно, зная мощность генератора P_r при различной его нагрузке и используя формулу (26.7), можно вычислить значения вращающих моментов $M_{вр}$, развиваемых двигателем.

Коэффициент полезного действия η двигателя можно определить, если известна из опыта полезная мощность P_2 , снимаемая с вала двигателя, и общая мощность P , потребляемая двигателем:

$$\eta = \frac{P_2}{P} 100\%. \quad (26.8)$$

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь (рис. 103).
 2. Поставить штурвалы всех реостатов в левое крайнее положение, а сопротивление реостата r_{pp} вывести.
 3. Запустить двигатель (включив для этого рубильник) и замерить по амперметру значение токов: пускового I_n и холостого хода I_{xx} .
 4. Установить по тахометру номинальные обороты n двигателя (по паспорту двигателя) и при помощи реостата r_{pp} возбуждения генератора установить по вольтметру заданную преподавателем электродвижущую силу E машины. Включить под напряжение все лампы лампового реостата. Замерить по амперметру значение рабочего тока I_p двигателя. Выключить лампы, уменьшить число оборотов n до минимума и остановить двигатель.
 5. Ввести полностью сопротивление реостата r_{pp} , запустить двигатель и по амперметру замерить значение пускового тока I_n . Остановить двигатель.
- Сравнить значение пусковых токов I_{n_1} и I_{n_2} .
- Пояснить, почему I_{n_1} и I_{n_2} отличаются по величине друг от друга.

Определить расчетом

$$\frac{I_{n_1}}{I_{n_2}}; \frac{I_{n_1}}{I_{xx}}; \frac{I_p}{I_{xx}}$$

и пояснить результаты вычислений.

6. Принимая во внимание, что генератор при своей работе создает определенный тормозной момент M_T , сняв опытные данные для построения реостатной регулировочной характеристики, для чего: запустить двигатель, установить номинальные обороты n якоря по тахометру, а по

вольтметру значение электродвижущей силы, равное значению, указанному в п. 4; включить 5 ламп лампового реостата и, изменяя величину сопротивления r_{pp} (табл. 1), записать значения токов I , I_B и число оборотов n двигателя.

Данные опыта занести в табл. 1.

Таблица 1

r_{pp}	0	$\frac{1}{4} r_{pp}$	$\frac{1}{2} r_{pp}$	$\frac{3}{4} r_{pp}$	r_{pp}
$n, \text{об/мин}$					
I, a					
I_B, a					
$I_n = I - I_B, a$					

Выключить лампы, остановить двигатель и по опытным данным построить реостатную регулировочную характеристику:

$$n = f(r_{pp});$$

$$I_n = f(r_{pp})$$

при $U = \text{const}$ и $M_T = \text{const}$.

Объяснить ход кривой и обосновать вывод о возможности регулирования числа оборотов n при помощи изменения сопротивления r_{pp} .

Пояснить, почему этот способ регулировки числа оборотов якоря неэкономичен.

7. Вывести r_{pp} , запустить двигатель, включить 5 ламп под номинальное напряжение U_H генератора и, изменяя сопротивление реостата возбуждения r_{pv} двигателя (значение тока возбуждения I_B изменять по указанию преподавателя), записать значения чисел оборотов n якоря (по тахометру) и токов возбуждения I_B (по амперметру).

Данные опыта занести в табл. 2.

Таблица 2

I_B, ma					
$n, \text{об/мин}$					

Поставить штурвал реостата возбуждения двигателя в левое крайнее положение, выключить лампы и остановить двигатель.

По опытным данным построить регулировочную характеристику

$$n = f(I_a)$$

при $U = U_H = \text{const}$ и $M_T = \text{const}$.

Рассмотреть график и обосновать вывод о возможности регулировки числа оборотов n якоря при помощи реостата возбуждения. Сравнить данную характеристику с реостатной характеристикой и пояснить, в каком случае регулировка числа оборотов n получается более плавной.

8. Запустить двигатель и установить по тахометру номинальные обороты n_H якоря двигателя (по паспорту).

При помощи реостата возбуждения $r_{BВ}$ генератора установить по вольтметру электродвижущую силу E согласно п. 4. Включая поочередно различное число ламп (что соответствует увеличению тормозного момента M_T генератора и величины тока I , потребляемого двигателем), записать в табл. 3 следующие опытные данные.

Таблица 3

Измерения	Двигатель						Генератор				
	$U, \text{ в}$	$I_T, \text{ а}$	$I_{B'}, \text{ а}$	$I_{я'}, \text{ а}$	$P, \text{ вт}$	$n, \text{ об/мин}$	$U_T, \text{ в}$	$I_T, \text{ а}$	$P_2 = P_T = U_T I_T, \text{ вт}$	$M_{BВ}, \text{ кгм}$	$\eta = \frac{P_2}{P} 100\%$
2 лампы											
4 лампы											
6 ламп											
9 ламп											

Остановить двигатель и по опытным данным, а также вычисленным значениям P и $P_2 \approx P_T$ построить в одной системе координат следующие кривые:

$$M_{BВ} = f(I_{я});$$

$$n = f(I_{я});$$

$$\eta = f(I_{я}).$$

В отчете представить схему испытания двигателя, таблицы опытных данных и построенные графики.

Пояснить ход кривых, построенных по опытным данным, и по ним оценить свойства двигателя с параллельным возбуждением.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 27

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОУМФОРМЕРА ТИПА РУ-11Б

Цель. Получить практические навыки в испытании радиоумформера и снятии опытным путем его электрических характеристик.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Аккумуляторная батарея 10НКН-45 | 1 |
| 2. Радиоумформер РУ-11Б | 1 |
| 3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—5 а | 1 |
| 4. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—50 ма | 1 |
| 5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—15 в | 1 |
| 6. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—250 в | 1 |
| 7. Тахометр 0—10 000 об/мин | 1 |
| 8. Магазин сопротивлений ($R=2500, 4000, 10\,000$
20 000 ом, $I=0,05$ а) | 1 |
| 9. Отвертка | 1 |

Прежде чем начать рассматривать порядок испытания радиоумформера, выясним его назначение и основные свойства.

Радиоумформеры применяются для питания анодных цепей некоторых приемников и передатчиков, усилителей и другой аппаратуры связи. Их принцип действия основан на том, что они преобразуют постоянный ток низкого напряжения $U_{н.н.}$, получаемый от щелочных аккумуляторов накала ($U_{н.н.}=12—24$ в), в постоянный ток одного или нескольких высоких напряжений ($U_{в.н.}=200÷1500$ в).

В конструктивном отношении радиоумформер выполнен как электрическая машина с общей магнитной системой, одной обмоткой возбуждения и якорем, в пазах которого уложены две обмотки: моторная и генераторная. Со стороны коллектора низкого напряжения он представляет собой электродвигатель с параллельным возбуждением, а со стороны коллектора высокого напряжения — генератор с посторонним возбуждением.

На рис. 109 изображена принципиальная схема испытания радиоумформера.

Рассмотрим работу радиоумформера при всех его режимах работы.

При пуске его в ход пусковой ток $I_{\text{п}}$ достигает максимального значения, так как противоэлектродвижущая сила E в моторной обмотке равна нулю, а сопротивление цепи генераторной обмотки якоря $r_{\text{я}}$ мало:

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{н.н}}}{r_{\text{я}}} \quad (27.1)$$

при $E=0$.

По мере нарастания числа оборотов n якоря противоэлектродвижущая сила E увеличивается и значение пускового тока $I_{\text{п}}$ уменьшается. Как только число оборотов n

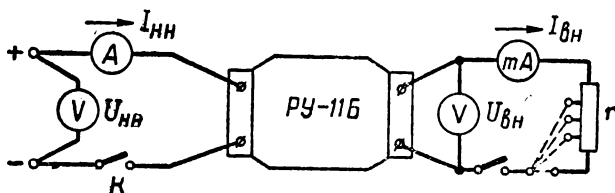


Рис. 109. Принципиальная схема испытания радиоумформера

якоря становится неизменным, радиоумформер переходит в режим холостого хода и ток холостого хода $I_{\text{х.х}}$ становится относительно небольшим, т. е. во много раз меньше пускового тока:

$$I_{\text{х.х}} = \frac{U_{\text{н.н}} - E}{r_{\text{я}}} \quad (27.2)$$

Если радиоумформер начнет питать электрической энергией потребитель с сопротивлением r (рис. 109), то ток нагрузки $I_{\text{н.н}}$ по низкому напряжению возрастет с тока холостого хода $I_{\text{х.х}}$ до рабочего тока $I_{\text{р}}$. Очевидно, что величина рабочего тока $I_{\text{р}}$ во всех возможных режимах работы радиоумформера будет больше тока холостого хода $I_{\text{х.х}}$, но меньше пускового тока $I_{\text{п}}$:

$$I_{\text{х.х}} < I_{\text{р}} \ll I_{\text{п}} \quad (27.3)$$

Пусковой ток $I_{\text{п}}$ примерно в 6—10 раз больше нормального рабочего тока $I_{\text{р}}$.

Увеличение рабочего тока I_p с ростом тока высокого напряжения $I_{в.н}$ объясняется возникновением тормозного момента M_T со стороны генераторной обмотки.

Действительно, когда по секциям генераторной обмотки проходит ток высокого напряжения $I_{в.н}$, последняя стремится вращаться в сторону, противоположную той, в которую вращается якорь. Чем больше значение тока высокого напряжения $I_{в.н}$, тем больше величина тормозного момента M_T .

Тормозное действие генераторной обмотки вызовет снижение числа оборотов n якоря, что в свою очередь приведет к снижению противоэлектродвижущей силы E и, в конечном счете, к росту рабочего тока I_p . Графическая зависимость $I_p = f(I_{в.н})$ и $n = f(I_{в.н})$ показана на рис. 110.

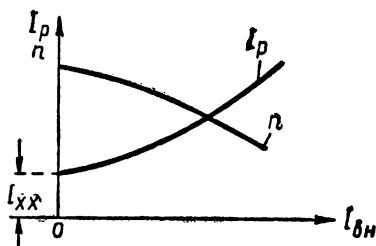


Рис. 110. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения рабочего тока I_p и числа оборотов якоря радиоумформера n при изменении тока $I_{в.н}$ высокого напряжения

Одновременно с ростом $I_{в.н}$ и увеличением I_p будет происходить уменьшение величины высокого напряжения $U_{в.н}$ на зажимах цепи:

$$U_{в.н} = E_r - I_{я} r_{я}; \quad (27.4)$$

$$E_r = cn\Phi, \quad (27.5)$$

где $U_{в.н}$ — высокое напряжение, вырабатываемое радиоумформером;

E_r — электродвижущая сила генераторной обмотки;

$I_{в.н} = I_{я}$ — ток высокого напряжения, равный току генераторной обмотки;

$r_{я}$ — сопротивление цепи генераторной обмотки якоря;

c — постоянная величина, характеризующая конструкцию радиоумформера;

n — число оборотов якоря в минуту;

Φ — магнитный поток машины.

Приведенные формулы показывают, что высокое напряжение уменьшается вследствие:

а) увеличения падения напряжения $I_{я} r_{я}$ на сопротивлении $r_{я}$ цепи генераторной обмотки;

б) уменьшения электродвижущей силы E_r со стороны коллектора высокого напряжения ввиду снижения числа оборотов n якоря;

в) реакции якоря, которая вызывает снижение магнитного потока Φ машины, что приводит к уменьшению электродвижущей силы E_r генераторной обмотки.

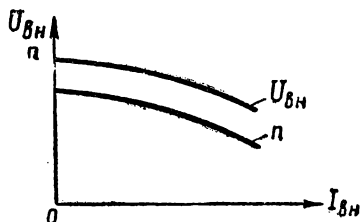


Рис. 111. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения высокого напряжения $U_{в.н}$ и числа оборотов якоря радиоумформера n при изменении тока $I_{в.н}$ высокого напряжения

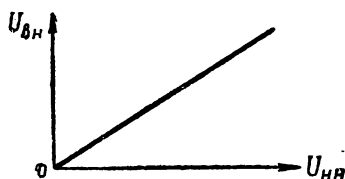


Рис. 112. Изменения высокого напряжения $U_{в.н}$ при изменении низкого напряжения $U_{н.н}$, подаваемого на радиоумформер

Графическая зависимость $U_{в.н} = f(I_{в.н})$ и $n = f(I_{в.н})$ изображена на рис. 111.

Следует иметь в виду, что любое изменение низкого напряжения $U_{н.н}$ в сторону повышения или понижения приводит почти к пропорциональному изменению высокого напряжения $U_{в.н}$:

$$U_{в.н} \cong \kappa U_{н.н}, \quad (27.6)$$

где κ — постоянный коэффициент.

Это объясняется тем, что любое изменение низкого напряжения $U_{н.н}$, подводимого к радиоумформеру, приводит к изменению числа оборотов n якоря и, следовательно, к изменению электродвижущей силы E_r генераторной обмотки (27.5). На рис. 112 изображена графическая зависимость $U_{в.н} = f(U_{н.н})$.

Следует помнить, что при переходе радиоумформера с холостого хода на рабочий режим (когда радиоумформер питает электрической энергией сопротивление нагрузки r) число оборотов n якоря падает, звук работы делается глуше, что является признаком нормальной работы радиоумформера.

В заключение следует отметить, что смена полярности по низкому напряжению вызывает изменение полярности по высокому напряжению.

Это легко понять, если вспомнить, что при смене полярности по низкому напряжению направление вращения якоря осталось прежним (так как одновременно произошло изменение тока как в моторной обмотке якоря, так и в обмотке возбуждения), а направление магнитного потока Φ машины изменилось на обратное.

Следовательно, в данном случае индуцируемая электродвижущая сила E_r в генераторной обмотке будет иметь противоположное направление.

Порядок выполнения работы

1. Снять крышки подшипниковых щитов и определить коллекторы низкого и высокого напряжения (по числу подводимых проводников к клеммам на траверсе или по ширине пластин коллектора). Проверить состояние нажимных пружин и щеток, определить, какая из щеток отрицательная, какая положительная. Собрать схему испытания радиоумформера (рис. 109).

2. Проверить опытным путем, как изменяется полярность по высокому напряжению и направление вращения якоря умформера, если изменять полярность по низкому напряжению.

3. Запустить радиоумформер и замерить токи: пусковой ток I_n , ток холостого хода $I_{х.х}$ и рабочий ток I_p (для чего к клеммам высокого напряжения подключить сопротивление на 4000 ом). Остановить радиоумформер. Записать опытные данные, сравнить их между собой и пояснить результаты измерений.

4. Запустить радиоумформер и, изменяя сопротивление магазина сопротивлений, по приборам снять опытные данные и занести их в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

r , ом	$I_{в.н'}$ ма	$U_{в.н'}$ в	$I_{н.н'}$ а	n , об/мин	Примечание
4000					
6000					
8000					
10 000					
20 000					

Остановить радиоумформер.

По опытным данным в одной системе координат построить следующие графики:

$$U_{в.н} = f(I_{в.н});$$

$$I_{н.н} = f(I_{в.н});$$

$$n = f(I_{в.н}).$$

Используя полученные графики, пояснить, какими свойствами обладает радиоумформер.

Объяснить, почему с ростом значения высокого напряжения $I_{в.н}$ понижается число оборотов n якоря и увеличивается значение тока низкого напряжения $I_{н.н}$.

5. Уменьшая значение низкого напряжения $U_{н.н}$, подаваемого на радиоумформер (отключая по одному аккумулятору от аккумуляторной батареи), определить, как изменяется высокое напряжение $U_{в.н}$ (при включенном сопротивлении $r = 4000 \text{ ом}$).

Опытные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

№ измерений	Измеряемая величина	$U_{н.н}'$ в	$U_{в.н}'$ в	Примечание
1				При изменении $U_{н.н}$ величину $r = 4000 \text{ ом}$ не изменять
2				
3				
4				

По опытным данным построить график $U_{в.н} = f(U_{н.н})$ при $r = 4000 \text{ ом} = \text{const.}$

В выводах по работе привести схему испытания радиоумформера, таблицы опытных данных и графики.

Пояснить ход кривых, построенных по опытным данным, смену полярности по высокому напряжению с изменением полярности по низкому напряжению.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 28

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Цель. Исследовать рабочие характеристики асинхронного электродвигателя трехфазного тока.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии трехфазного тока с $U=220$ в 1
2. Асинхронный электродвигатель — трехфазного тока ($P=3,5$ ква, $\cos \varphi=0,85$, $n=1440$ об/мин) 1
3. Генератор постоянного тока ($P=2,2$ квт, $U=220$ в, $I=10$ а, $n=1440$ об/мин) 1
4. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—250 в 1
5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—250 в 1
6. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—10 а 1
7. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—50 а 1
8. Тахометр 1
9. Ламповый реостат с $U=220$ в, $P=2,2$ квт 1

Асинхронный электродвигатель состоит из двух основных частей — статора и ротора.

Статор — неподвижная часть электродвигателя; состоит из ярма, на внутренней поверхности которого равномерно размещены три обмотки, сдвинутые относительно друг друга на угол 120° . При подключении этих обмоток к сети трехфазного тока по обмоткам протекают токи

$$i_1 = I_m \sin \omega t, \quad (28.1)$$

$$i_2 = I_m \sin (\omega t - 120^\circ), \quad (28.2)$$

$$i_3 = I_m \sin (\omega t - 240^\circ). \quad (28.3)$$

Эти токи создают соответственно магнитные потоки

$$\phi_1 = \Phi_m \sin \omega t, \quad (28.4)$$

$$\phi_2 = \Phi_m \sin (\omega t - 120^\circ), \quad (28.5)$$

$$\phi_3 = \Phi_m \sin (\omega t - 240^\circ). \quad (28.6)$$

Магнитные потоки создают результирующий магнитный поток

$$\Phi = 1,5 \Phi_m, \quad (28.7)$$

вращающийся с постоянной угловой скоростью. Скорость вращения магнитного поля статора определяется по формуле

$$n = \frac{60f}{P}, \quad (28.8)$$

где n — число оборотов магнитного поля статора в минуту;

f — частота питающего тока, $гц$;

P — число пар полюсов магнитного поля статора.

Таким образом, статор служит для создания вращающегося магнитного поля.

Ротор — подвижная часть электродвигателя; представляет собой цилиндр, собранный из отдельных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. В пазах ротора уложена обмотка.

В маломощных двигателях эта обмотка представляет собой ряд толстых медных или алюминиевых стержней, соединенных с обоих концов при помощи двух колец («беличье колесо»). В двигателях большой мощности обмотка ротора, аналогично обмотке статора, состоит из трех короткозамкнутых катушек изолированного провода. Ротор укреплен на подшипниках и может свободно вращаться.

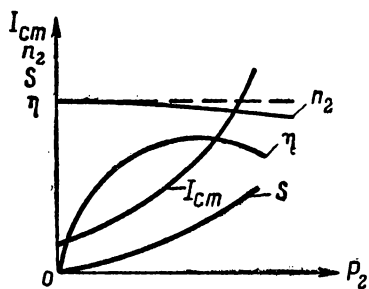


Рис. 113. Рабочие характеристики асинхронного двигателя трехфазного тока

Принцип действия асинхронного электродвигателя основан на явлении взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем, создаваемым токами, индуцированными вращающимся магнитным полем в обмотке ротора.

Ротор данного двигателя никогда не может вращаться с той же скоростью, что и магнитное поле статора, поэтому он называется несинхронным, или асинхронным.

На рис. 113 изображены основные рабочие характеристики асинхронного электродвигателя трехфазного тока. Они выражают зависимость основных величин, характеризующих работу электродвигателя, от полезной (механической) мощности P_2 , развиваемой на валу электродвигателя.

К таким величинам относятся:

1) n_2 — число оборотов ротора в минуту; с увеличением механической нагрузки, а следовательно, и полезной мощности P_2 число оборотов n_2 ротора уменьшается, но незначительно; при изменении механической нагрузки от холостого хода до номинальной число оборотов n_2 ротора уменьшается всего лишь на $3 \div 5\%$.

2) S — скольжение; скольжение — величина, равная процентному отношению разности скоростей вращения магнитных полей статора и ротора к скорости вращения магнитного поля статора:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\%, \quad (28.9)$$

где S — скольжение, %;

n_1 — число оборотов в минуту вращающегося магнитного поля статора;

n_2 — число оборотов в минуту вращающегося магнитного поля ротора.

Скольжение S характеризует запаздывание вращения магнитного поля ротора относительно вращения магнитного поля статора.

При увеличении нагрузки на валу электродвигателя число оборотов в минуту вращающегося ротора n_2 уменьшается, следовательно, скольжение S увеличивается.

3) $I_{ст}$ — ток в статорной обмотке; с увеличением механической нагрузки ток в статорной обмотке увеличивается. При холостом ходе он имеет минимальное значение.

4) к.п.д. — коэффициент полезного действия электродвигателя; к.п.д. электродвигателя равен процентному отношению механической мощности $P_{мех}$ на валу к мощности электрической $P_{эл}$, т. е.

$$\text{к.п.д.} = \frac{P_{мех}}{P_{эл}} 100\%. \quad (28.10)$$

При номинальной нагрузке к.п.д. достигает максимума, при нагрузке больше номинальной — постепенно уменьшается. Обычно к.п.д. мощных электродвигателей доходит до 90%.

Кроме перечисленных величин, весьма важной величиной, характеризующей рабочие свойства электродвигателя, является вращающий момент $M_{вр}$. На рис. 114 приведен график зависимости вращающего момента $M_{вр}$ электродвигателя от скольжения S . Из графика видно, что при пуске

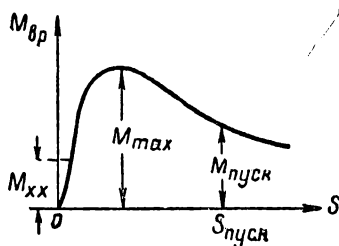


Рис. 114. График изменения вращающего момента $M_{вр}$ при изменении величины скольжения S

менту M_T , ротор электродвигателя будет вращаться с постоянным числом оборотов n_2 . Если механическую нагрузку продолжать увеличивать, то M_T будет больше $M_{вр}$, что приведет к уменьшению n_2 и возрастанию S и $M_{вр}$. В результате вновь наступит динамическое равновесие $M_{вр}$ и M_T , но уже при меньшем n_2 и соответственно больших $M_{вр}$ и S .

Пуск в ход асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором производится двумя способами:

1. Переключением обмоток статора со «звезды» на «треугольник». Вначале переключатель ставится в положение «звезда». После того как электродвигатель разовьет достаточные обороты, переключатель переводят в положение «треугольник». Такой способ пуска двигателя дает возможность

в ход вращающий момент $M_{вр}$ электродвигателя относительно невелик, но по мере того, как ротор набирает обороты, скольжение S уменьшается и вращающий момент $M_{вр}$ увеличивается. Пройдя максимум, $M_{вр}$ начинает снова уменьшаться.

Когда установится такое скольжение S , при котором вращающий момент $M_{вр}$ станет равным тормозному мо-

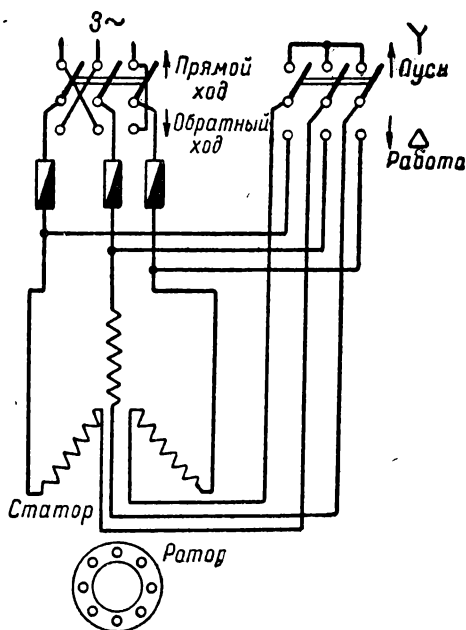


Рис. 115. Принципиальная схема включения асинхронного двигателя в сеть, позволяющая переключать обмотки двигателя со «звезды» на «треугольник» при пуске

уменьшать пусковые токи без применения пусковых реостатов. Реверсирование (изменение направления вращения ротора) асинхронного электродвигателя осуществляется путем смены местами концов двух любых проводов, идущих от сети к статору электродвигателя. Схема реверса приведена на рис. 115.

2. Непосредственным включением в сеть при помощи рубильника.

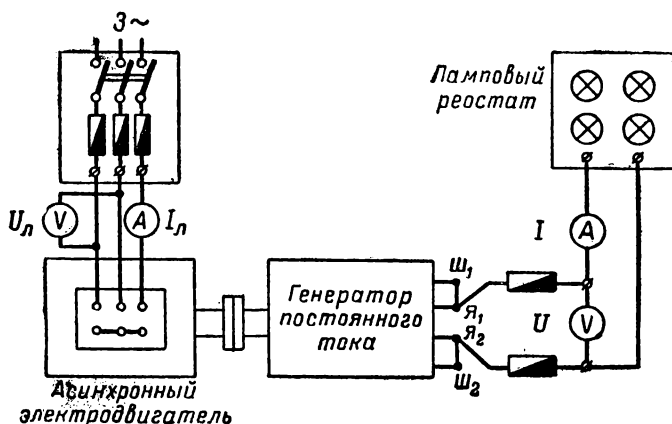


Рис. 116. Стенд для испытания асинхронного двигателя трехфазного тока

Принципиальная схема установки для снятия рабочих характеристик асинхронного двигателя приведена на рис. 116. Механической нагрузкой на валу асинхронного двигателя служит генератор постоянного тока. В качестве электрической нагрузки на генератор служит ламповый реостат. Такая схема испытательной установки позволяет расчетным путем определить основные величины, характеризующие асинхронный двигатель.

Так, например, пренебрегая потерями в генераторе постоянного тока, находим полезную мощность P_2 , которая приблизительно будет равна

$$P_2 \approx P_r = UI, \quad (28.11)$$

где U — напряжение генератора постоянного тока, в;

I — ток нагрузки на генератор постоянного тока, а.

Вращающий момент $M_{вр}$ асинхронного двигателя может быть определен по формуле

$$M_{вр} = \frac{P_2}{1,03n_2}, \quad (28.12)$$

где n_2 — число оборотов ротора в минуту.

К.п.д. асинхронного двигателя можем определить по формуле (28.10), полагая, что

$$P_{мех} = P_1;$$

$$P_{эл} = \sqrt{3} \cdot U_{л} I_{л} \cos \varphi,$$

при этом приближенно можно считать, что нагрузка на сеть переменного тока активная и $\cos \varphi \cong 1$.

Значения U , I , $U_{л}$ и $I_{л}$, необходимые для расчетов, могут быть измерены при помощи приборов, указанных на схеме рис. 116, а величина n_2 — при помощи тахометра.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь, рис. 116.
2. Пустить в ход электродвигатель, измерить пусковой ток $I_{п}$, ток холостого хода $I_{хх}$ в статоре.
3. Поменяв местами концы двух любых питающих проводов на щитке электродвигателя, убедиться в том, что направление вращения ротора изменяется.
4. Изменяя величину механической нагрузки на электродвигатель от величины холостого хода до номинальной величины путем изменения нагрузки на генератор постоянного тока, произвести измерения числа оборотов n_2 ротора асинхронного двигателя, токов и напряжений в цепях постоянного и переменного токов.

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Измерения	Измеренные величины					Расчетные величины				Примечание
	$U,$ $в$	$I,$ $а$	$U_{л},$ $в$	$I_{л},$ $а$	$n_2,$ $об/мин$	$P_2,$ $вт$	$S,$ $\%$	$M_{вр},$ $кгм$	к. п. д., $\%$	
	пост. ток		перем. ток							
1										Скорость вращения магнитного поля статора определить по паспортным данным электродвигателя: $n_1 =$
2										
3										
4										
5										
6										

5. По опытным данным расчетным путем определить P_2 , S , $M_{вр}$, к.п.д. для всех установленных значений механической нагрузки. Результаты расчетов записать в табл. 1.

6. По результатам опытных и расчетных данных построить рабочие характеристики и график зависимости $M_{вр} = f(S)$.

7. По проделанной работе составить отчет установленной формы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 29

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель. Получить практические навыки по работе с вибропреобразователем ВПР-6, а также опытным путем проверить свойства этого вибропреобразователя.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Аккумуляторная батарея 2НКН-22 | 2 |
| 2. Вибропреобразователь ВПР-6 | 1 |
| 3. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—100 <i>ма</i> | 1 |
| 4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—250 <i>в</i> | 1 |
| 5. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—15 <i>в</i> | 1 |
| 6. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—5 <i>а</i> | 1 |
| 7. Реостат ($R=24 \text{ ом}$; $I=3 \text{ а}$) | 1 |
| 8. Магазин сопротивлений ($R=4000, 8000, 16\,000, 20\,000 \text{ ом}$; $I=0,05 \text{ ма}$) | 1 |

Значительное число радиостанций малой мощности имеет только один источник питания — щелочные аккумуляторы, которые одновременно питают накальные цепи (низковольтные) и анодно-экранные цепи (высоковольтные) приемопередатчика.

Однако питать анодно-экранные цепи непосредственно от аккумуляторов нельзя, так как последние являются источниками постоянного тока низкого напряжения, а, как известно, анодно-экранные цепи для своего питания требуют электрическую энергию высокого напряжения.

Поэтому в качестве преобразователя напряжения используется специальное устройство, которое в технике называется вибропреобразователем.

Вибропреобразователь, питаемый от аккумуляторной батареи, путем механических манипуляций преобразует постоянный ток низкого напряжения в переменный ток, который затем усиливается и выпрямляется. На выходе вибропреобразователя получается постоянное повышенное в несколько десятков раз (относительно $U_{\text{акк}}$) напряжение U_B .

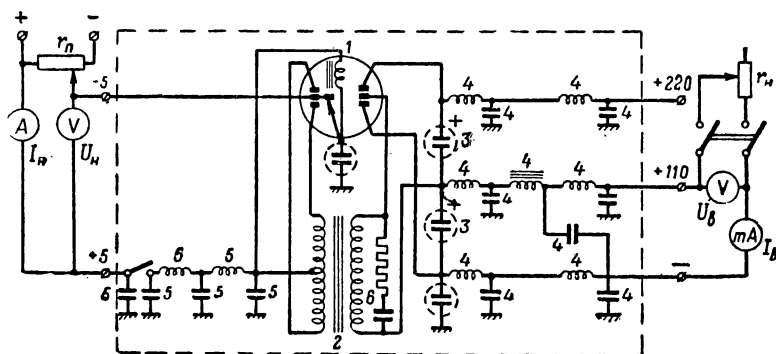


Рис. 117. Принципиальная схема вибропреобразователя, работающего по схеме удвоения напряжения:

1 — вибратор; 2 — трансформатор; 3 — накопительные конденсаторы; 4 — фильтр со стороны повышенного напряжения; 5 — фильтр со стороны низкого напряжения; 6 — искрогасительное устройство

Одной из схем вибропреобразователя является схема с удвоением напряжения (рис. 117). Такую схему имеет вибропреобразователь типа ВПР-6. Как видно из схемы, основными элементами вибропреобразователя являются: вибратор 1, трансформатор 2, накопительные конденсаторы 3, фильтр со стороны повышенного напряжения 4, фильтр со стороны низкого напряжения 5, искрогасительное устройство 6.

Особенностью этой схемы является то, что она позволяет получить два повышенных напряжения, которые в одном случае используются для питания анодно-экранных цепей приемника (110 в), а в другом — для питания передатчика (220 в).

В этой конструкции вибропреобразователя искрогасящее устройство 6, включенное в цепь вторичной обмотки трансформатора 2, выполняет две задачи: во-первых, предохраняет контакты от подгорания и, во-вторых, не позво-

ляет возникнуть опасным перенапряжениям на вторичной обмотке трансформатора.

Фильтр 4, включенный на выходе вибропреобразователя, обеспечивает получение выпрямленного напряжения с нужным коэффициентом пульсаций.

Фильтр 5 включен в цепь низкого напряжения для нормальной работы других потребителей электрической энергии постоянного тока, работающих совместно с вибропреобразователем.

В табл. 1 приведены технические данные вибропреобразователя ВПР-6.

Таблица 1

Род работы	Низкое напряжение			Высокое напряжение			К. п. д., не ниже, %	Допустимое изменение низкого на- пряжения, в	Частота вибратора, пер/сек	Срок работы вибратора, ч
	$U_{н'}$ в	$I_{н'}$ а	$P_{н'}$ вт	$U_{в'}$ в	$I_{в'}$ ма	$P_{в'}$ вт				
Прием	4,8—5	0,6	2,88	110	10	1,1	38	4,2—5	100	800
Передача	4,8—5	2,1	10,08	220	30	6,6	65			

Вибропреобразователь рассчитан на длительный непрерывный режим работы и исправно действует в условиях изменения температуры окружающей среды от -40° до $+50^{\circ}$ С при влажности до 95%.

При эксплуатации вибропреобразователя нужно соблюдать следующие правила:

1. Вибропреобразователь устанавливать в горизонтальное положение.

2. Строго соблюдать полярность при соединении вибропреобразователя с источником питания. В схеме ВПР-6 применены электролитические конденсаторы, и несоблюдение полярности при подключении вибропреобразователя приводит к выходу конденсаторов из строя.

3. Не допускать питания вибропреобразователя от пониженного напряжения, так как при напряжении ниже 4,2 в он работает неустойчиво.

4. Не допускать работы вибропреобразователя от источника тока с большим внутренним сопротивлением во избежание колебаний напряжения источника питания при изменении его нагрузки.

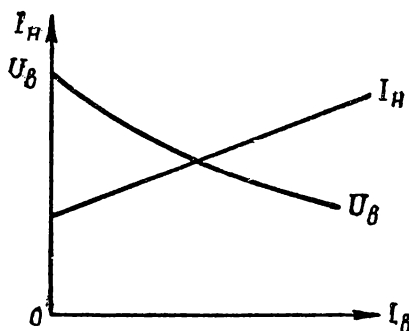


Рис. 118. Графики, иллюстрирующие зависимость изменения тока низкого напряжения $I_{н.н}$ и высокого напряжения $U_{в.н}$ при изменении тока нагрузки $I_{в}$

Рабочими характеристиками вибропреобразователя являются зависимости тока низкого напряжения $I_{н}$ и высокого напряжения $U_{в}$ от тока высокого напряжения $I_{в}$ при неизменном напряжении источника электрической энергии, т. е.

$$I_{н} = f(I_{в}),$$

$$U_{в} = f(I_{в})$$

при $U_{акк} = \text{const.}$

Эксплуатационными характеристиками вибропреобразователя являются

снятые при постоянном сопротивлении $r_{н}$ в цепи высокого напряжения зависимости

$$U_{в} = f(U_{н}), \quad I_{в} = f(U_{н})$$

при $r_{н} = \text{const.}$

Рабочие и эксплуатационные характеристики изображены на рис. 118 и 119.

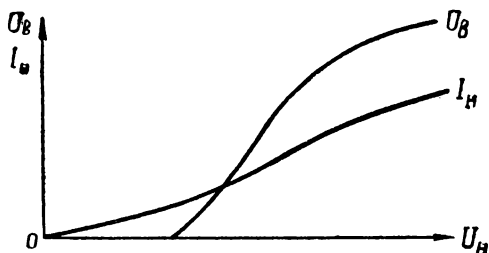


Рис. 119. График зависимости тока низкого напряжения $I_{н}$ и высокого напряжения $U_{в}$ при изменении низкого напряжения $U_{н}$, подведенного к вибропреобразователю

Порядок выполнения работы

1. Используя принципиальную схему вибропреобразователя, рассмотреть монтажную схему ВПР-6 (фильтр НН, искрогасительное устройство, конденсаторы-накопители, фильтр ВН, вибратор, выключатель).

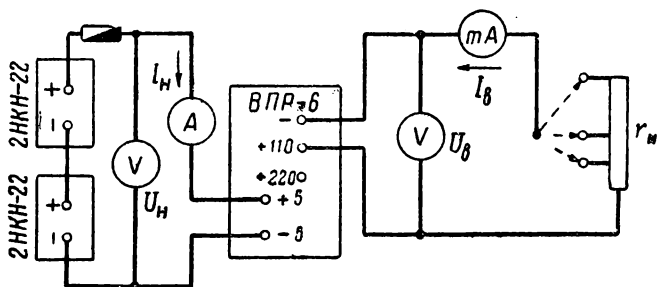


Рис. 120. Схема испытания вибропреобразователя при заданных различных значениях сопротивления нагрузки r_n

2. Собрать электрическую цепь (рис. 120).
3. Изменяя значение сопротивления магазина сопротивлений (магазин на 20 ком) в пределах, указанных преподавателем, снять по приборам данные I_v , U_v , I_n , U_n и занести их в табл. 2.

Таблица 2

Измерения	Значение сопротивления r_n , ом	Высокое напряжение		Низкое напряжение		Примечание
		I_v , ма	U_v , в	I_n , а	U_n , в	
1						Подключить провод +110 в
2						
3						
4						
1						Подключить провод +220 в
2						
3						
4						

По данным табл. 2 в одной системе координат построить графики (для одного режима: +110 или +220 в)

$$U_v = f(I_v); I_n = f(I_v); U_n = f(I_v).$$

4. Собрать электрическую цепь (рис. 121). Установить напряжение $U_n = 5$ в и включить ВПР-6. Изменяя значение подводимого напряжения U_n (в пределах, указанных преподавателем), снять показания миллиамперметра и вольтметра со стороны высокого напряжения.

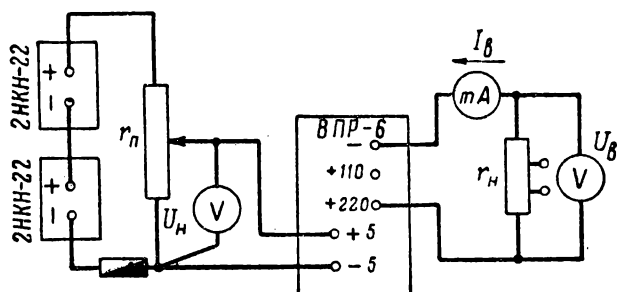


Рис. 121. Схема испытания вибропреобразователя при постоянном значении сопротивления нагрузки r_n

Опытные данные занести в табл. 3 и построить графики
 $U_b = f(U_n)$, $I_b = f(U_n)$.

Таблица 3

Измерения	U_n , в	U_b , в	I_b , ма	Примечание
				Подключить провод +110 в

При снятии эксплуатационных характеристик нужно установить сопротивление r_n в соответствии с номинальным током $I_b = I_{b, \text{ном}}$ при номинальном подведенном напряжении.

5. В отчете изобразить снятые характеристики графически, обосновать выводы в отношении влияния изменений тока I_b и напряжения U_b на работу вибропреобразователя и объяснить, в каких пределах допустимо изменение низкого напряжения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 30

ПРОВЕРКА И МОНТАЖ КУПРОКСНЫХ ИЛИ СЕЛЕНОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ В ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Цель. Получить практические навыки в проверке полупроводниковых вентиляй и сборке их по однофазной мостиковой схеме.

Материальное обеспечение:

1. Источник электрической энергии постоянного тока с напряжением 24 в 1
2. Понижающий трансформатор ($U_2=16\text{ в}$, $I_2=0,7\text{ а}$) 1
3. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—75 в 1
4. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а 1
5. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—150 ма 1
6. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—150 в 1
7. Набор купроксных шайб 12
8. Набор дистанционных шайб 7
9. Набор свинцовых прокладок 8
10. Набор радиаторных пластин с припаянными токоотводами 5
11. Изоляционные опорные шайбы 2
12. Болт с изоляционной втулкой и гайками 1
13. Станок для сборки столбика купроксных шайб и их испытания 1
14. Реостат ($r=120\text{ ом}$, $I=2,4\text{ а}$) 1
15. Гаечные ключи 2

Односторонняя проводимость полупроводниковых вентилей, которая возникает в местах соприкосновения полупроводника (анода) с проводником (катодом), широко используется для выпрямления переменного тока в различных областях техники. На рис. 122 схематично изображены вентиль и его условное обозначение в электрических схемах.

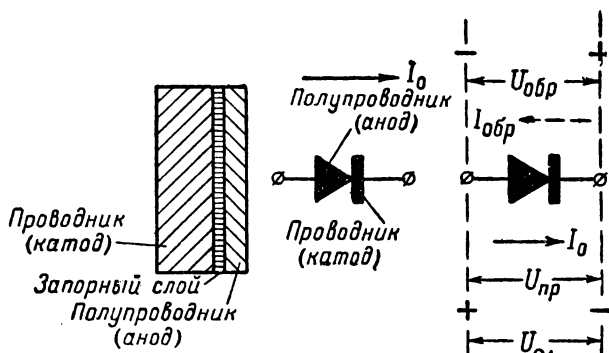


Рис. 122. Вентиль и его условное обозначение

При подаче на вентиль переменного напряжения U электрический ток I_0 хорошо проходит только в одном направлении — от полупроводника к проводнику при условии, что напряжение $U_{\text{пр}}$ плюсом приложено к аноду, а минусом к катоду. В обратном же направлении от проводника к полупроводнику при смене полярности напряжения $U_{\text{обр}}$ электрический ток $I_{\text{обр}}$ проходит хуже, его величина по сравнению с прямым током I_0 весьма мала (рис. 122).

В зависимости от типа вентиля соотношение между I_0 и $I_{\text{обр}}$ разное, но во всех случаях $I_0 \gg I_{\text{обр}}$, если, конечно, напряжение на вентиле не достигнет предельного обратного напряжения $U_{\text{обр}}$, при котором вентиль теряет свои вентильные свойства. Такая резкая разница в значениях токов I_0 и $I_{\text{обр}}$ объясняется тем, что сопротивления вентиля $r_{\text{пр}}$ и $r_{\text{обр}}$ при прямом $U_{\text{пр}}$ и обратном $U_{\text{обр}}$ напряжениях, приложенных к вентилю, разные, причем $r_{\text{пр}} \ll r_{\text{обр}}$.

Значения $r_{\text{пр}}$ и $r_{\text{обр}}$ непостоянные и зависят как от величин $U_{\text{пр}}$ и $U_{\text{обр}}$, так и от температуры окружающей среды, причем эта зависимость нелинейная.

В настоящее время в технических устройствах широко используются несколько видов твердых или полупроводниковых вентилях, например селеновые и купроксные.

Наибольшее распространение в технике связи получили селеновые вентили, которые являются основным элементом выпрямительных устройств: в одном случае они используются для зарядки аккумуляторов (выпрямители типа ВСА), в другом — для питания приемной и передающей аппаратуры (выпрямители ВСР), а также для питания обмоток возбуждения синхронных генераторов постоянным током.

Купроксные вентили, как и селеновые, используются для тех же целей, но, кроме этого, применяются также и для питания электроизмерительных приборов детекторной системы.

В зависимости от типа вентилях последние обладают различными электрическими характеристиками. В табл. 1 приведены основные усредненные электрические характеристики для селеновых и купроксных вентилях.

Следует иметь в виду, что с течением времени и в процессе работы электрические характеристики вентилях изменяются, а некоторые вентили становятся непригодными для дальнейшей эксплуатации. Поэтому перед сборкой вентилях в столбик их необходимо проверить и определить, на-

сколько опытные данные соответствуют номинальным, значения которых указаны в табл. 1.

Таблица 1

Наименование номинальных величин	Селеновый ventиль	Купроксный ventиль
Рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$, которое должно быть подведено к ventилью	12—18 в	4—8 в
Обратное напряжение $U_{\text{обр}}$	до 20 в	8—10 в
Допустимая плотность тока j	40—60 ма/см ²	50—60 ма/см ²
Падение напряжения ΔU на ventиле при номинальном прямом токе $I_{\text{он}}$	до 1,5 в	до 2,5 в
Рабочая температура	$-40^{\circ} \div +75^{\circ} \text{C}$	$-50^{\circ} \div +60^{\circ} \text{C}$
Коэффициент полезного действия	70—80%	60—70%
Пробивное напряжение $U_{\text{пробив}}$	50—100 в	40—60 в

Чтобы определить годность ventиля, достаточно знать две характеристики:

— падение напряжения ΔU на сопротивлении $r_{\text{пр}}$ ventиля при номинальном прямом токе $I_{\text{он}}$;

— значение обратного тока $I_{\text{обр}}$ при номинальном приложенном к ventилью напряжении.

Если ΔU и $I_{\text{он}}$, измеренные опытным путем, не будут превосходить предельных значений, указанных в табл. 1, то ventиль считается пригодным к эксплуатации.

В некоторой степени можно судить о пригодности ventилей по величине сопротивлений $r_{\text{пр}}$ и $r_{\text{обр}}$ и их отношению. Например, в исправных купроксных ventилях это отношение примерно равно 80—100. Если ventиль пробит, то сопротивление $r_{\text{пр}} = r_{\text{обр}} \cong 0$ и не зависит от смены полярности приложенного напряжения. Для измерения сопротивлений $r_{\text{пр}}$ и $r_{\text{обр}}$ целесообразно использовать омметр с источником питания, напряжение которого близко к рабочему напряжению $U_{\text{раб}}$ ventиля.

Проверка ventилей производится в следующей последовательности:

1. Определяют по формуле (30.1) величину номинального прямого тока

$$I_{\text{он}} = jS, \quad (30.1)$$

где $I_{\text{он}}$ — номинальный прямой ток, ма;

j — плотность тока для данного типа ventиля, ма/см²;

S — площадь рабочей поверхности ventиля, см².

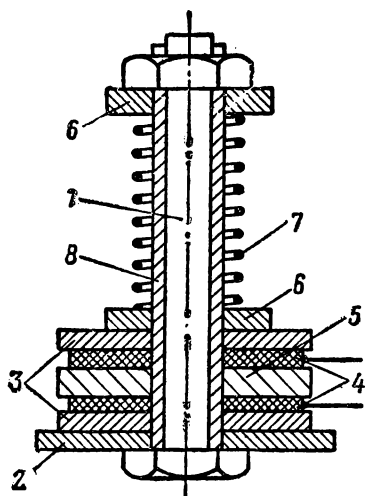


Рис. 123. Приспособление для получения нормального контакта между рабочей поверхностью вентиля с токоотводами:

1 — болт с гайкой; 2 — опорная плита; 3 — изоляционные шайбы; 4 — токоотводы; 5 — вентиль (шайба); 6 — направляющие шайбы; 7 — нажимная пружина; 8 — изоляционная втулка

2. Устанавливают шайбу (вентиль) с двумя токоотводами и опорными изоляционными прокладками, расположенными по обеим сторонам вентиля, на болт с изоляционной втулкой. При помощи гайки и нажимной пружины (рис. 123) создается такое давление, при котором возникает надежный контакт рабочей поверхности вентиля с токоотводами. Признаком возникновения нормального контакта является постоянство прямого тока I_0 при подаче на вентиль примерно 50% рабочего напряжения $U_{\text{раб}}$. Если прямой ток I_0 изменяется с течением времени, то следует увеличить поджатие пружины до постоянства тока.

3. Собирают цепь для проверки вентиля согласно

рис. 124. При помощи потенциометра устанавливают номинальный прямой ток $I_{\text{он}}$ (согласно расчету) и измеряют падение напряжения ΔU на вентиле.

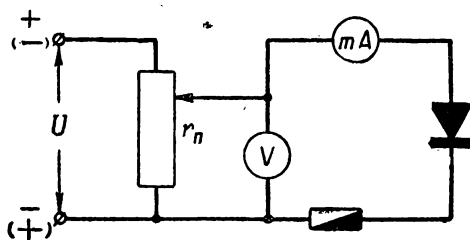


Рис. 124. Схема испытания вентиля

4. Изменяют полярность напряжения, приложенного к вентилю, и при помощи потенциометра устанавливают номинальное обратное напряжение $U_{\text{обр}}$ и измеряют величину обратного тока $I_{\text{обр}}$.

Сравнивая опытные данные с номинальными (табл. 1), подбирают соответственно вентили:

— для последовательного соединения — по одинаковому обратному току $I_{обр}$, полученному при номинальном напряжении;

— для параллельного соединения — по одинаковому падению напряжения ΔU , полученному при номинальном прямом токе $I_{пр}$.

Для выпрямления переменного тока в технике связи широко используется однофазная мостиковая схема (рис. 125). В этой схеме вентили включены таким образом, что при одном полупериоде U_2 ток проходит по двум противоположным вентилям, например по первому и второму (1—2), а при другом полупериоде U_2 — по двум другим (3—4).

Такое включение вентилей обеспечивает прохождение выпрямленного тока I_0 по сопротивлению потребителя только в одном направлении в течение двух полупериодов, т. е. обеспечивает двухполупериодное выпрямление.

Графическая зависимость изменения вторичного напряжения трансформатора u_2 и выпрямленного тока i_0 от времени t показана на рис. 126.

Для схемы, изображенной на рис. 125, справедливы следующие соотношения:

$$U_2 = 1,11 U_0; \quad (30.2)$$

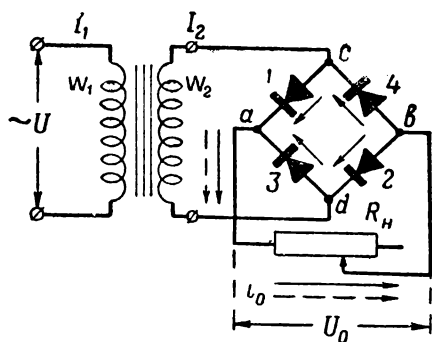


Рис. 125. Однофазная мостиковая схема

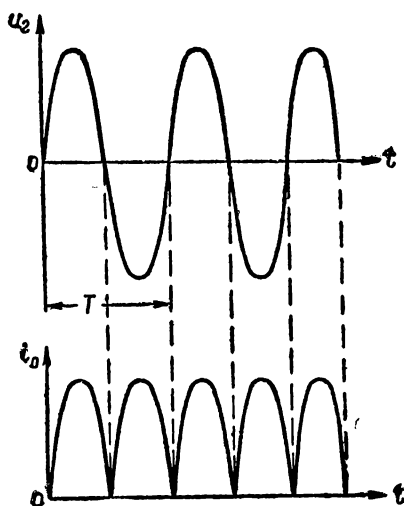


Рис. 126. Графики, иллюстрирующие физические процессы, происходящие при работе однофазной мостиковой схемы

$$I_2 = 1,11 I_0; \quad (30.3)$$

$$U_1 = \frac{k}{0,9} U_0; \quad (30.4)$$

$$I_1 = \frac{1,11}{k} I_0; \quad (30.5)$$

$$U_{обр} = 1,57 U_0, \quad (30.6)$$

где k — коэффициент трансформации трансформатора;

U_0, I_0 — среднее значение выпрямленного напряжения и тока;

U_2, U_1, I_2, I_1 — действующее значение напряжений и токов трансформатора;

$U_{обр}$ — обратное напряжение, приложенное к вентилю (группе вентилей, соединенных последовательно или параллельно) в плече моста.

Пользуясь уравнениями (30.2) — (30.6), по заданным значениям U_0, I_0, k и типу вентилей нетрудно определить необходимые для нормальной работы выпрямителя напряжения и токи как трансформатора, так и вентиля.

Число последовательно включенных вентилей n и параллельно включенных вентилей m в плече моста определяется формулами (30.7) и (30.8):

$$n = \frac{U_{обр}}{U_{обр. \text{ вентиля}}}; \quad (30.7)$$

$$m = \frac{I_n}{I_{0н}}, \quad (30.8)$$

где I_n — ток нагрузки, а;

$I_{0н}$ — номинальное значение выпрямленного тока, которое может дать вентиль.

Чтобы произвести сборку вентилей, необходимо предварительно перейти от принципиальной схемы (рис. 125) к монтажной, т. е. расположить вентили в одну линию и показать места подсоединения столбика вентиля к трансформатору и проводам, идущим к сопротивлению r_n потребителя.

Для этого достаточно условно разъединить провода в точке c и расположить плечи моста в одну линию относительно точки d , после чего провода соединить в точке c и показать общую схему подключения (рис. 127).

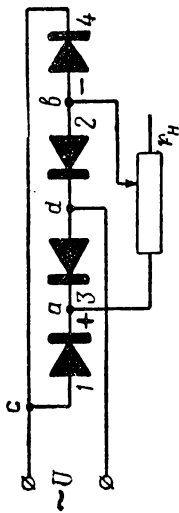


Рис. 127. Монтажная однофазная мостиковая схема

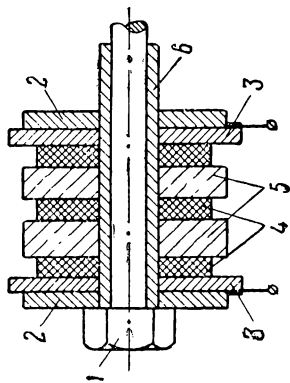


Рис. 128. Расположение купроксных вентилей на болте:

1 — болт с гайкой; 2 — опорная плита; 3 — радиаторная пластина; 4 — свинцовые шайбы; 5 — вентили; 6 — изоляционная втулка

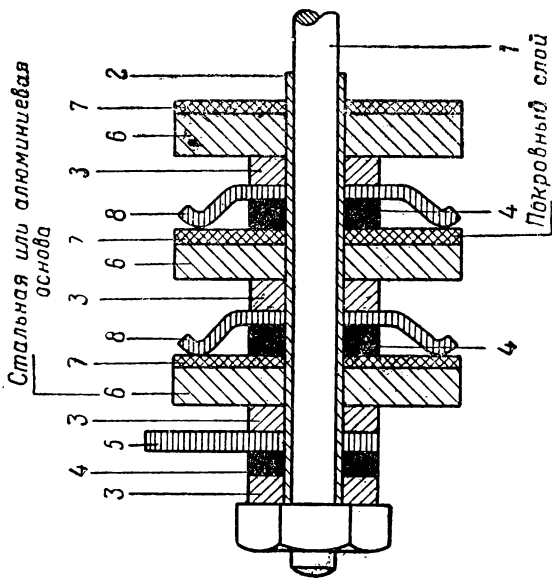


Рис. 129. Расположение селеновых вентилей на болте:

1 — болт с гайкой; 2 — изоляционная втулка; 3 — стальная шайба; 4 — изоляционная шайба; 5 — токовод; 6 — выгравированный элемент (вентиль); 7 — латунная пружинная шайба

Сборка вентиля производится на изолированном болте. Для необходимого зазора вентили разделяются друг от друга дистанционными шайбами, а для улучшения контакта могут быть снабжены свинцовыми шайбами (купроксные вентили).

Для лучшего охлаждения вентиля используются латунные или медные радиаторные пластины, которые могут одновременно выполнять роль токоотводов, если не используются специальные токоотводы.

Собранный на болте столбик вентиля, прокладок и шайб стягивается гайками.

На рис. 128 и 129 показано, как следует собирать купроксные и селеновые элементы на болте.

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и назначение деталей вентиля.
2. Определить расчетом для данного типа вентиля значение номинального прямого тока $I_{он}$, используя для этого расчетную формулу (30.1) и данные табл. 1.
3. Проверить электрические данные вентиля и их пригодность к эксплуатации согласно вышеизложенным правилам проверки вентиля.
4. Омметром измерить сопротивления вентиля $r_{пр}$ и $r_{обр}$. Опытные данные пунктов 3 и 4 занести в табл. 2.

Таблица 2

№ вентиля	$\Delta U,$ в	$I_{обр},$ ма	$r_{пр},$ ом	$r_{обр},$ ком	$\frac{r_{обр}}{r_{пр}}$	Примечание

5. По заданным значениям U_0 , I_0 и k при данной конструкции вентиля определить расчетом U_2 , U_1 , I_2 , I_1 , $U_{обр}$, n , t и вычертить монтажную мостиковую схему.

6. Из отобранных исправных вентиля собрать столбик и согласно рис. 130 подсоединить его к зажимам вторичной обмотки трансформатора, а также подключить к вы-

ходным токоотводам (постоянного напряжения) сопротивление нагрузки. Собранный схему выпрямителя представить преподавателю для проверки.

7. Включить схему под переменное напряжение U_{\sim} , предварительно поставив ползунок реостата в положение «введено».

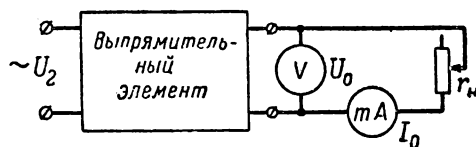


Рис. 130. Схема выпрямителя с подключенной внешней цепью

Изменяя при помощи реостата ток нагрузки $I_H = I_0$ через каждые $\frac{I_{0H}}{10}$, снять 8—10 опытных данных для определения зависимости выпрямленного напряжения U_0 от тока I_H .

Результаты измерений записать в табл. 3.

Таблица 3

I_H ма									
U_0 в									

На основании проделанной работы составить отчет, в котором рассмотреть: правила отбора исправных вентиляй; кроме того, вычертить монтажную мостиковую схему и привести расчет выпрямителя; вычертить таблицы опытных данных.

По опытным данным построить график $U_0 = f(I_H)$ и объяснить, почему с ростом I_H выпрямленное напряжение U_0 на зажимах мостика уменьшается.

Пояснить, в каких случаях прибегают к последовательному, а в каких — к параллельному соединению вентиляй.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 31

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ МОСТИКОВОЙ СХЕМЫ, СОБРАННОЙ НА ПЛОСКОСТНЫХ ДИОДАХ ДГ-Ц

Цель. Получить практические навыки в испытании и сборке двухполупериодной мостиковой схемы, собранной на полупроводниковых диодах типа ДГ-Ц.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Источник электрической энергии переменного тока с $U = \sim 127$ в | 1 |
| 2. Источник электрической энергии постоянного тока с $U = 2,5$ в (аккумуляторная батарея 2НКН-24) . . | 1 |
| 3. Источник электрической энергии постоянного тока с $U = 240$ в | 1 |
| 4. Плоскостные диоды ДГ-Ц 27 | 1 |
| 5. Монтажная колодка для сборки мостиковой схемы | 1 |
| 6. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—500 ма | 1 |
| 7. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—3—15—150 в | 1 |
| 8. Вольтметр переменного тока с пределом измерения 0—150 в | 1 |
| 9. Амперметр переменного тока с пределом измерения 0—1 а | 1 |
| 10. Реостат ($R = 24$ ом; $I = 3$ а) | 1 |
| 11. Реостат ($R = 1200$ ом; $I = 0,4$ а) | 1 |

Односторонняя проводимость полупроводниковых вентилях широко используется в различных областях техники. Большая часть аппаратуры техники связи (радиоприемники, передатчики, телевизоры, измерительные приборы и другие устройства) получает питание от сети переменного тока, который перед тем, как попасть в аппаратуру, проходит в выпрямительные устройства.

Эти устройства имеют полупроводниковые вентили (селеновые, медно-закисные, германиевые), собранные по специальным схемам, обеспечивающие выпрямление переменного тока.

Основным преимуществом германиевых вентилях ДГ-Ц (германиевых диодов) по сравнению с электронными вентилями являются высокий к. п. д., большой срок службы и меньшие габариты.

Принцип действия германиевых вентилях основан на эффекте выпрямления в контактном слое двух материалов, имеющих разную проводимость.

В отличие от селеновых, медно-закисных и других полупроводниковых вентилях у германиевых вентилях в качестве анода и катода используются полупроводники.

По устройству германиевый диод относительно простой. Он состоит из корпуса с помещенной в него контактной парой индия и германия. Воздух из корпуса удален, и там

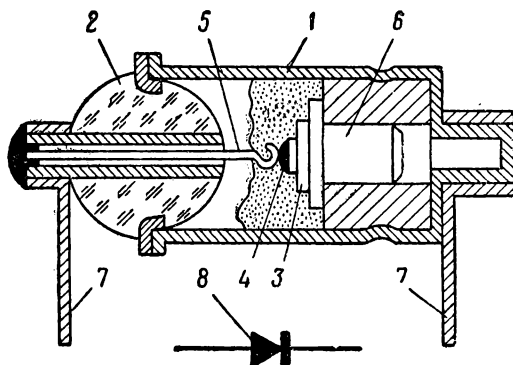


Рис. 131. Устройство плоскостного диода типа ДГ-Ц:

1 — корпус; 2 — стеклянный изолятор; 3 — германий; 4 — индий; 5 — верхний токосниматель; 6 — нижний токосниматель; 7 — контактные выводы; 8 — условное обозначение вентиля

создан определенный вакуум. Подключение диода к потребителю осуществляется при помощи двух токоснимателей, один из которых соединен с корпусом, а другой изолирован стеклянным изолятором.

Устройство диода ДГ-Ц и его условное обозначение даны на рис. 131.

Габариты вентиля: длина 21 мм, диаметр 7 мм.

Для определения рабочих свойств диодов опытным путем снимают вольтамперные характеристики $I=f(U)$, которые показывают, как проходит ток в прямом и обратном направлении через диод при положительных и отрицательных напряжениях.

На рис. 132 изображены вольтамперные характеристики при различных температурных режимах одного из типов германиевых диодов.

Из данных графиков видно, что любое изменение температуры, при которой работает диод, в сторону понижения или повышения резко влияет на его электрические свойства.

С повышением температуры растет величина обратного тока $I_{обр}$. Нагрев германиевых вентилях допускается не свыше 75°C . Дальнейшее увеличение температуры, при которой работает вентиль, резко ухудшает его электрические свойства, т. е. он начинает пропускать ток в двух направлениях (как при положительных, так и при отрицательных напряжениях).

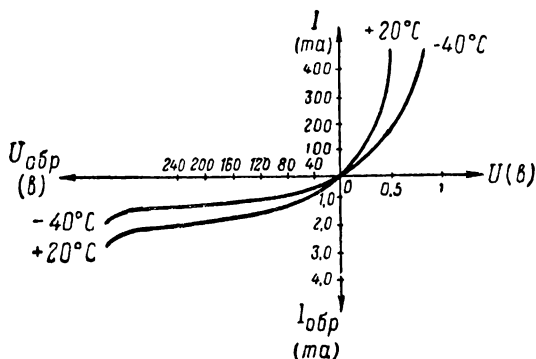


Рис. 132. Вольтамперные характеристики германиевых вентилях

Германиевые диоды серии ДГ-Ц рассчитаны на выпрямление напряжения $50\text{--}200\text{ в}$. Максимально допускаемое обратное напряжение колеблется в пределах $100\text{--}300\text{ в}$, т. е. по обратному напряжению германиевые диоды приближаются к электронным вентилям. Предельно допустимое значение плотности тока 30 а/см^2 , т. е., несмотря на малые размеры, вентили выдерживают значительные нагрузки; нормальный прямой ток составляет $100\text{--}300\text{ ма}$; коэффициент полезного действия выпрямителей на германиевых диодах достигает $95\text{--}98\%$. Срок службы — не менее 4000 ч . Внутреннее сопротивление вентилях прямому току колеблется в пределах $1\text{--}10\text{ ом}$.

Германиевые диоды допускают последовательное и параллельное включение; это позволяет получить нужные выпрямленные токи и напряжения для потребителя. Следует иметь в виду, что при последовательном включении обрат-

ное напряжение $U_{обр}$, под которым находится вся цепочка диодов, будет распределено неравномерно между сопротивлениями диодов, так как они по своим значениям различны. В то же время падение напряжения в прямом направлении весьма мало, порядка $0,5 \div 1,5$ в.

Это объясняется тем, что внутреннее сопротивление r_0 диода мало. Прямой ток I_0 по своему значению относительно мал, поэтому падение напряжения $U_0 = I_0 r_0$ также невелико.

Для уменьшения разброса по обратным напряжениям параллельно каждому диоду рекомендуется включать непроволочное шунтирующее сопротивление, значение которого для различных типов плоскостных диодов разное (табл. 1).

Таблица 1

Типовые режимы полупроводниковых плоскостных диодов при различных температурах

Тип диода	$t^\circ = +20^\circ \text{C}$			$t^\circ = +10^\circ \text{C}$		
	I_0 , мА	$U_{обр}$, в	$R_{ш}$, ком	I_0 , мА	$U_{обр}$, в	$R_{ш}$, ком
ДГ-Ц21	300	50	$15 \div 18$	200	40	$4,7 \div 5,6$
	400	40		300	30	
	500	30		400	20	
ДГ-Ц25	100	300	$120 \div 180$	100	200	$22 \div 27$
	200	270		200	180	
	300	240		300	155	
ДГ-Ц27	100	400	$220 \div 270$	100	280	$33 \div 39$
	200	360		200	260	
	300	330		300	230	

Мощность каждого из сопротивлений не более 0,25 или 0,5 вт. Отклонение величины сопротивления от номинала должно быть не хуже $\pm 10\%$.

Применение шунтирующих сопротивлений не снижает существенно к.п.д. выпрямителя; в то же время оно значительно увеличивает срок службы диодов.

Следует помнить, что обычно рекомендуется ставить диоды в такой режим, при котором амплитуда обратного напряжения $U_{обр}$ несколько меньше предельно допустимой.

При активной нагрузке номинальная амплитуда переменного напряжения диода $U_{обр}$ равна амплитуде переменного напряжения U_2 , поступающего на диод со вторичной обмотки силового трансформатора $U_{обр} = 1,41 U_2$.

Данное соотношение справедливо, если температура не превышает $+20^\circ - 25^\circ \text{C}$.

Таким образом, для того чтобы вычислить $U_{обр}$, нужно расчетом (или по вольтметру) предварительно определить величину подведенного к вентилю напряжения U_2 .

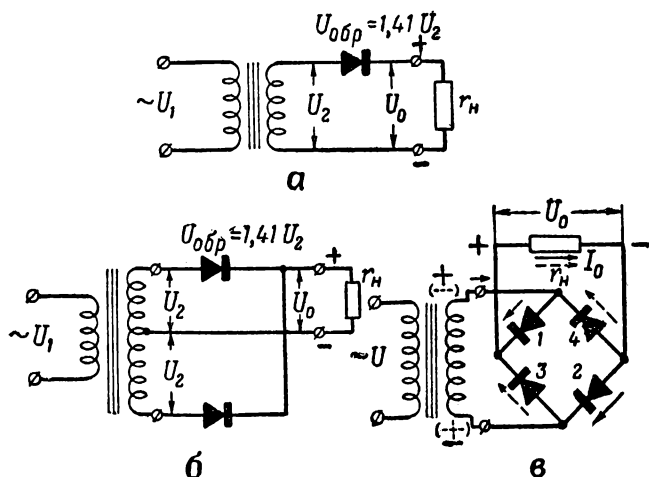


Рис. 133. Варианты схем выпрямителя при однополупериодном и двухполупериодном выпрямлении переменного тока

Для параллельного включения диодов следует производить отбор по их прямому сопротивлению или не делать отбора, но значительно снижать при этом допустимое значение тока (табл. 1).

Уменьшение допустимого значения тока можно объяснить тем, что при параллельном включении вентилях через вентили, которые имеют меньшие сопротивления, вследствие разброса по прямым сопротивлениям пройдет больший ток, в результате чего вентили окажутся перегруженными.

В зависимости от схемы выпрямителя (рис. 133) можно получить однополупериодное (рис. 133, а) или двухполупериодное выпрямление тока (рис. 133, б).

Двухполупериодная мостиковая схема (рис. 133, в) позволяет осуществить выпрямление переменного тока в течение

ние двух полупериодов, так как в этой схеме вентили включены таким образом, что при одном полупериоде напряжения ток проходит по двум противоположным вентилям (1—2), а при другом — по двум другим (3—4).

Графическая зависимость изменения вторичного напряжения u_2 трансформатора и выпрямленного тока I_0 от времени t показана на рис. 134. При анализе графиков видно, что такое включение вентиля обеспечивает прохождение выпрямленного тока I_0 по сопротивлению потребителя только в одном направлении в течение всего периода.

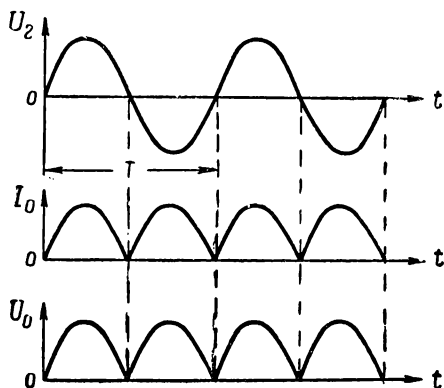


Рис. 134. Графики, иллюстрирующие работу однофазной мостиковой схемы

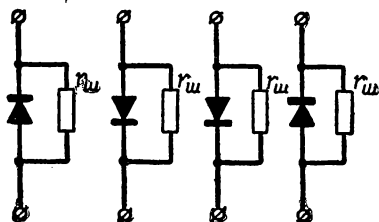


Рис. 135. Монтажная панель

Таким образом, чтобы собрать мостиковую схему (рис. 133, в), необходимо иметь минимум четыре вентиля. В нашей работе германиевые плоскостные диоды вместе с шунтовыми сопротивлениями смонтированы на монтажной панели (рис. 135).

Такое расположение диодов позволяет собрать различные виды схем выпрямления, в том числе и двухполупериодную мостиковую схему. Кроме того, такое расположение вентиля обычно применяют в монтажных схемах радиоустройств.

Диоды по выбранной схеме выпрямления соединяют перемычками.

Порядок выполнения работы

1. Выписать из табл. 1 номинальные электрические данные для испытуемого типа ДГ-Ц:

$$U_{\text{обр.ном}} = \dots;$$

$$I_{0\text{ном}} = \dots$$

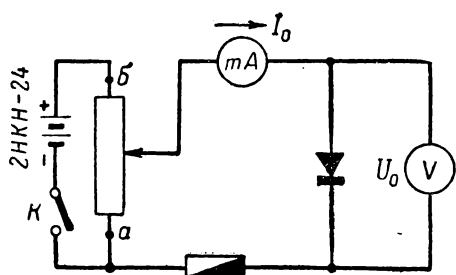


Рис. 136. Схема для испытания вентиля при прямом напряжении $U_{пр}$

2. Собрать схему согласно рис. 136, установив предварительно ползунок реостата в положение a .

Изменяя через каждые 0,1 в величину подводимого к диоду напряжения U , записать значения прямого тока I_0 .

Предельным значением тока I_0 , при котором следует прекратить испытание диода, будет его номинальное значение, указанное в пункте 1.

Данные опыта записать в табл. 2.

Таблица 2

№ измерений	U , в	I_0 , ма	$I_{обр}$, ма	Примечание

3. Собрать схему согласно рис. 137, установив предварительно ползунок реостата в положение a .

Изменяя через каждые 40 в величину подводимого к диоду обратного напряжения $U_{обр}$ в пределах от нуля до номинального значения $U_{обр. ном}$ (см. п. 1), записать значение обратного тока $I_{обр}$ (данные опыта занести в табл. 2).

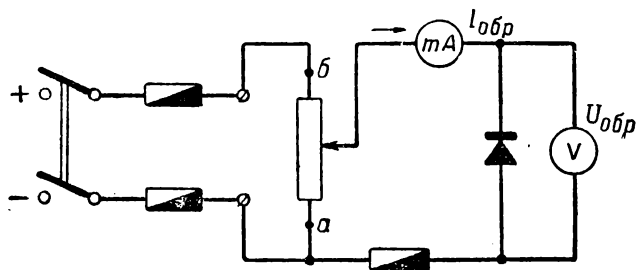


Рис. 137. Схема для испытания вентиля при обратном напряжении $U_{обр}$

По опытным данным построить для данного типа ДГ-Ц вольтамперную характеристику, считая, что его рабочая температура порядка $+16^{\circ} \div +20^{\circ} \text{C}$ (комнатная температура).

4. Вычертить монтажную двухполупериодную мостиковую схему четырех вентилялей и собрать по ней испытываемые диоды, используя монтажную колодку (рис. 135). Собрать цепь согласно рис. 138, поставив предварительно ползунки реостатов в положение *a*.

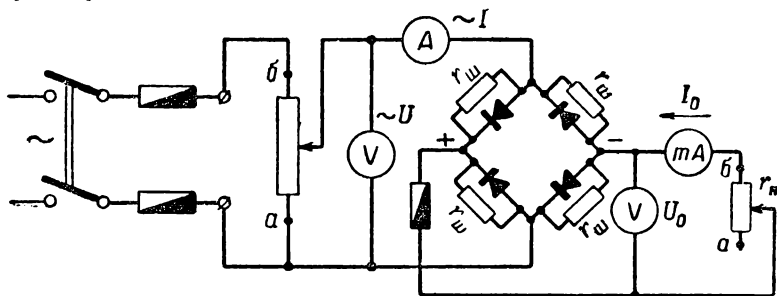


Рис. 138. Схема исследуемой цепи

Изменяя через каждые 10 в подводимое к мостиковой схеме напряжение U в пределах, указанных руководителем работы, записать опытные данные в табл. 3, не изменяя при этом величину сопротивления нагрузки ($r_n = \text{const}$).

Таблица 3

№ измерений	$\sim U,$ в	$\sim I,$ ма	$U_0,$ в	$I_0,$ ма

Выключить схему и поставить ползунок реостата в положение *a*.

По опытным данным в одной системе координат построить следующие графики:

$$U_0 = f(\sim U); \sim I = f(\sim U); I_0 = f(U_0).$$

5. Включить схему (рис. 138) и установить по вольтметру номинальное напряжение $\sim U_{\text{ном}}$, подводимое к мостиковой схеме (по указанию руководителя работы).

Изменяя сопротивление нагрузки r_n , снять 8—9 опытных данных: I_0 , U_0 , $\sim I$, $\sim U$ — и записать в табл. 3.

Изменение выпрямленного тока I_0 производить в пределах от минимума до номинального значения.

По опытным данным в одной системе координат построить графики: $U_0 = f(I_0)$; $\sim I = f(I_0)$; $\sim U = f(I_0)$. На основании проделанной работы составить отчет, в котором отразить:

1. Монтажную двухполупериодную схему, состоящую из четырех вентилялей.

2. Таблицы опытных данных 2 и 3.

3. Графики, построенные по опытным данным; объяснение хода кривых.

4. Объяснить, в каких случаях используется последовательное и параллельное соединение вентилялей, и вычертить схемы таких соединений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 32

СОЕДИНЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БАТАРЕЮ

Цель. Получить практические навыки в соединении элементов в батарею и опытным путем проверить свойства этих соединений.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Гальванические элементы 3С | 6 |
| 2. Миллиамперметр постоянного тока с пределом измерения 0—500 <i>ма</i> | 1 |
| 3. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—3—15—150 <i>в</i> | 1 |
| 4. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—1 <i>а</i> | 1 |
| 5. Реостат ($R=6 \text{ ом}$; $I=2 \text{ а}$) | 1 |
| 6. Реостат ($R=120 \text{ ом}$; $I=2,45 \text{ а}$) | 1 |

Химические источники электрической энергии (гальванические элементы, аккумуляторы) могут соединяться между собой в батарею последовательно, параллельно и смешанно.

На практике обычно применяются только два способа соединения элементов в батарею — последовательное и смешанное.

Параллельное соединение, хотя и будет рассмотрено, практического применения не нашло, так как в этом случае напряжение батареи элементов равно напряжению одного элемента, которое, как известно, мало. (Напряжение потребителей $U_{\text{п}}$ почти всегда больше напряжения элемента $U_{\text{эл}}$).

Расчетные формулы, приводимые ниже, будут выведены в предположении, что все элементы, собираемые в батарею, обладают одинаковыми электродвижущими силами E , внутренними сопротивлениями r_0 и одной и той же емкостью Q :

$$E_1 = E_2 = \dots = E_{\text{п}}; \quad (32.1)$$

$$r_{01} = r_{02} = \dots = r_{0\text{п}}; \quad (32.2)$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_{\text{п}}. \quad (32.3)$$

Такие условия соединения элементов в батарею обеспечивают: во-первых, одинаковую по времени продолжительность работы всех элементов одним и тем же разрядным током $I_{\text{р}}$; во-вторых, при этих условиях не возникают паразитные разрядные токи в отдельных источниках электрической энергии. Данные условия (32.1), (32.2), (32.3) должны быть эксплуатационными правилами для сборки элементов в батарею.

Рассмотрим свойства каждого из соединений.

Последовательное соединение элементов в батарею

При последовательном соединении гальванических элементов в батарею они соединяются друг с другом в ряд разноименными полюсами (рис. 139). Так как батарея составлена из n однотипных последовательно соединенных элементов, то электродвижущая сила $E_{\text{б}}$ батареи равна ЭДС одного элемента E_1 , умноженной на число элементов в батарее:

$$E_{\text{б}} = E_1 n. \quad (32.4)$$

Внутреннее сопротивление батареи $r_{0\text{б}}$ равно внутреннему сопротивлению r_{01} одного элемента, умноженному на число элементов в батарее:

$$r_{0\text{б}} = r_{01} n. \quad (32.5)$$

Если к батарее элементов подключено сопротивление r , то закон Ома для всей цепи будет иметь вид

$$I = \frac{E_1 n}{r + r_{01} n} \quad (32.6)$$

или

$$I = \frac{E_6}{r + r_{06}}. \quad (32.7)$$

Из формулы (32.7) следует, что батарею элементов можно рассматривать как один источник электрической энергии с одной ЭДС E_6 и одним внутренним сопротивле-

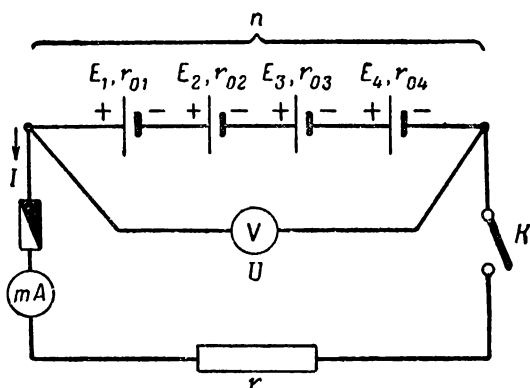


Рис. 139. Батарея гальванических элементов, соединенных последовательно

нием r_{06} . Емкость батареи Q_6 равна емкости одного элемента Q_1 , так как все элементы батареи одновременно разряжаются одним и тем же током I_p :

$$Q_6 = Q_1. \quad (32.8)$$

На основании перечисленных свойств можно сделать вывод, что последовательное соединение элементов следует применять в тех случаях, когда номинальное напряжение потребителя U_n больше напряжения одного элемента $U_{эл}$, а номинальный ток потребителя I_n не превышает допустимого тока элемента $I_{эл}$.

Число элементов n батареи обычно определяется по формуле

$$n = \frac{U_n}{U_{эл}}, \quad (32.9)$$

если $I_n \leq I_{эл}$.

Параллельное соединение элементов в батарее

При параллельном соединении гальванических элементов в батарее все положительные полюсы источников электрической энергии соединяются одним проводом в одну узловую точку, а отрицательные полюсы в другую (рис. 140).

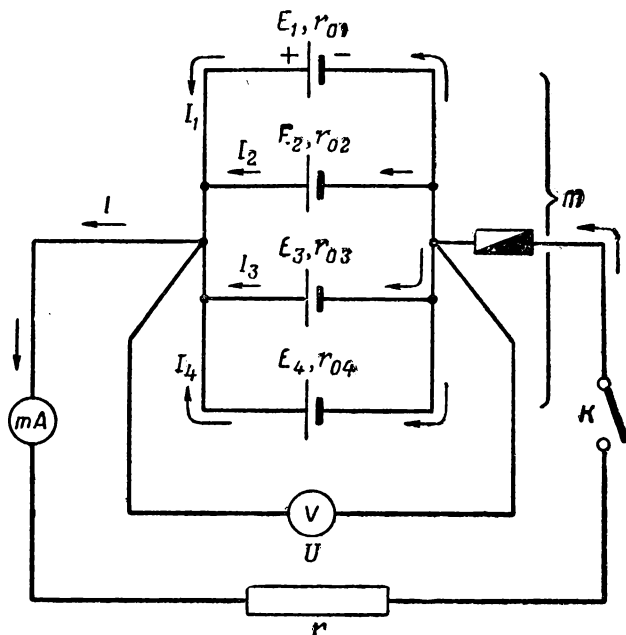


Рис. 140. Батарея гальванических элементов, соединенных параллельно.

Батарею параллельно соединенных элементов, как правило, собирают из элементов одного типа.

Электродвижущая сила E_6 батареи и ее внутреннее сопротивление r_{06} определяются по следующим уравнениям:

$$E_6 = E_1; \quad (32.10)$$

$$r_{06} = \frac{r_{01}}{m}, \quad (32.11)$$

где m — число параллельно включенных элементов.

Если к батарее элементов подключено сопротивление r , то закон Ома для всей цепи будет иметь вид

$$I = \frac{E_1}{r + \frac{r_{01}}{m}} \quad (32.12)$$

или

$$I = \frac{E_6}{r + r_{06}}. \quad (32.13)$$

Емкость Q_6 всей батареи равна емкости Q_1 одного элемента, умноженной на число элементов m батареи:

$$Q_6 = Q_1 m. \quad (32.14)$$

Параллельное соединение элементов следует применять тогда, когда номинальный ток потребителя I_n больше допустимого разрядного тока элемента $I_{эл}$, а номинальное напряжение потребителя U_n не превосходит напряжения элемента $U_{эл}$ или меньше его.

Кроме того, это соединение целесообразно применять в тех случаях, когда требуется получить емкость батареи Q_6 больше емкости одного элемента Q_1 .

Для определения значения m можно применять следующую формулу:

$$m = \frac{I_n}{I_{эл}}, \quad (32.15)$$

если

$$U_n \leq U_{эл}.$$

Смешанное соединение элементов в батарею

При смешанном соединении элементов в батарею в группах элементы соединены последовательно, а сами группы соединяются параллельно (рис. 141).

На схеме, изображенной на рис. 141, в каждой группе соединено последовательно n элементов, а число групп, соединенных параллельно, равно m .

Очевидно, что такое соединение будет обладать как свойствами последовательного, так и параллельного соединения элементов.

Электродвижущая сила E_6 батареи смешанно соединенных элементов равна электродвижущей силе E_1 одного элемента, умноженной на число элементов n в одной группе:

$$E_6 = E_1 n. \quad (32.16)$$

Внутреннее сопротивление r_{06} батареи смешанно соединенных элементов равно внутреннему сопротивлению r_{01} одного элемента, умноженному на число элементов n в группе и поделенному на число групп m в батарее:

$$r_{06} = \frac{r_{01}n}{m}. \quad (32.17)$$

Если к батарее элементов подключено сопротивление r , то закон Ома для всей цепи будет иметь вид

$$I = \frac{E_1 n}{r + \frac{r_{01}n}{m}} \quad (32.18)$$

или

$$I = \frac{E_6}{r + r_{06}}. \quad (32.19)$$

Емкость Q_6 всей батареи смешанно соединенных элементов равна емкости одного элемента Q_1 , умноженной на число параллельных групп m в батарее:

$$Q_6 = Q_1 m. \quad (32.20)$$

Применять такое соединение следует в тех случаях, когда номинальное напряжение потребителя $U_{\text{п}}$ и ток потребителя $I_{\text{п}}$ превышают напряжение $U_{\text{эл}}$ и разрядный ток $I_{\text{эл}}$ одного элемента, т. е. при $U_{\text{п}} > U_{\text{эл}}$ и $I_{\text{п}} > I_{\text{эл}}$.

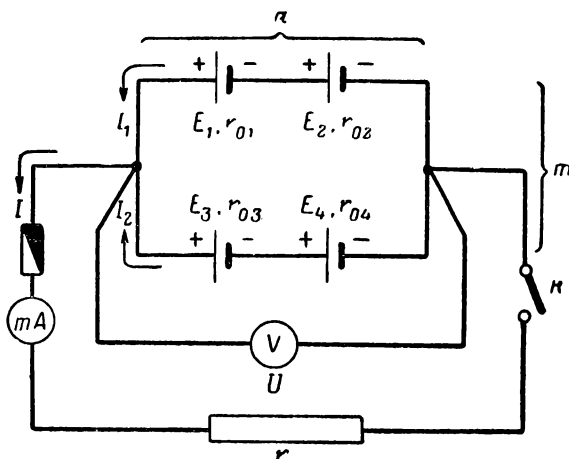


Рис. 141. Смешанное соединение гальванических элементов в батарею

Для приблизительных расчетов можно использовать следующие формулы:

$$n = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{эл}}}; \quad (32.21)$$

$$m = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{эл}}}. \quad (32.22)$$

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему согласно рис. 142. Измерить E , U , I и по формуле

$$r_0 = \frac{E - U}{I} \quad (32.23)$$

рассчитать значение r_0 элемента.

Измерение произвести для всех элементов. Результаты измерения и вычисленные значения r_0 занести в табл. 1.

Таблица 1

№ элементов	Наблюдения				Вычисления	Элементы, отобранные для сборки в батарею
	r , ом	E , в	U , в	I , а	r_0 , ом	

Из 6 элементов отобрать 4 для сборки батарей, у которых E и r_0 по величине близки друг другу. Для этих источников электрической энергии при расчетах считать, что их ЭДС E и внутреннее сопротивление r_0 равны друг другу. Допущенная ошибка будет практически незначительной и на точность расчета не окажет влияния.

2. Собрать цепь согласно рис. 139 с сопротивлением внешней цепи r , указанным преподавателем. Измерить ЭДС E_6 и напряжение U_6 батареи, ток I в цепи и вычислить E , r_0 , I и $t_{\text{разр}}$ (время разряда).

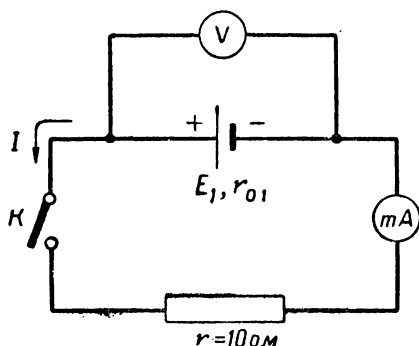


Рис. 142. Схема цепи испытания гальванического элемента

3. Собрать цепь согласно рис. 140 с сопротивлением внешней цепи r , указанным преподавателем. Измерить и рассчитать электрические величины, указанные в п. 2.

4. Собрать цепь согласно рис. 141 с сопротивлением внешней цепи r , указанным преподавателем. Измерить и рассчитать электрические величины, указанные в п. 2.

Данные, полученные в пунктах 2, 3, 4, занести в табл. 2.

Таблица 2

Соединение элементов в батарею	Наблюдения			Вычисления				Примечание
	$E_{б, в}$	$U_{б, в}$	$I, а$	$E_{б, в}$	$r_{об, ом}$	$I, а$	$t_{разр, ч}$	
Последовательное								$r =$
Параллельное								$r =$
Смешанное								$r =$

5. По результатам опытных и расчетных данных сделать вывод о свойствах последовательного, параллельного и смешанного соединений элементов в батарею и возможности их практического применения.

Выводы по работе отразить в отчете.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 33

ПОДГОТОВКА ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ К ЗАРЯДКЕ

Цель. Получить практические навыки в подготовке щелочных аккумуляторных батарей к зарядке и постановке их на заряд.

Материальное обеспечение:

1. Газотройный выпрямитель ($U_{\sim} = 127$ в, $U_{=}$ = 24 в, $I_{=}$ = 6 а) 1
2. Аккумуляторы 2-НКН-24 4
3. Амперметр постоянного тока с пределом измерения 0—10 а 1
4. Вольтметр постоянного тока с пределом измерения 0—30 в 1

5. Реостат ($R=5\text{ ом}$, $I=10\text{ а}$)	1
6. Ареометр	1
7. Термометр ($t=75^{\circ}\text{С}$)	1
8. Резиновая груша	1
9. Стеклянная палочка	1
10. Кружка железная емкостью 0,5 л	2
11. Стеклянная трубка	1
12. Очки защитные	1
13. Перчатки резиновые	1
14. Коврики резиновые	2
15. Фартук прорезиненный	1
16. Инструмент	Набор
17. Обтирочный материал	Набор

Щелочные аккумуляторные батареи — основные источники питания для большинства средств связи. Их работоспособность и сохранение номинальной емкости в значительной степени предопределяет боеспособность средств связи.

Поэтому очень важно строго выполнять правила эксплуатации аккумуляторов.

Рассмотрим некоторые положения по эксплуатации аккумуляторов, которые будут необходимы для проведения данной работы.

Электролиты, применяемые для щелочных аккумуляторов, и их приготовление

Для щелочных аккумуляторов применяют в зависимости от времени года два вида электролитов:

1. **Составной электролит** — раствор едкого калия (КОН) плотностью $1,19 \div 1,21\text{ г/см}^3$ с добавлением 20 г едкого лития на 1 л раствора. Температурный интервал работы от -15 до $+40^{\circ}\text{С}$.

2. **Зимний электролит** — раствор едкого калия (КОН) плотностью $1,26 \div 1,3\text{ г/см}^3$ без добавления едкого лития. Температурный интервал работы от -15 до -40°С . Войска обычно снабжаются концентрированным электролитом, плотность которого выше.

Чтобы получить электролит нужной плотности, необходимо руководствоваться инструкцией завода, которая прилагается к каждой бутылки с электролитом (например, если плотность концентрированного электролита $1,41\text{ г/см}^3$, то для приготовления электролита плотностью $1,19\text{ г/см}^3$ необ-

ходимо брать объемное соотношение воды и концентрированного электролита один к одному).

Для приготовления электролита наряду с дистиллированной водой можно использовать чистую дождевую или снеговую воду и в крайнем случае воду, пригодную для питья (кроме минеральной). Электролит готовится в чистой железной или керамической посуде.

Растворять щелочь следует небольшими порциями, чтобы не нагревать электролита до высокой температуры. Причем если электролит готовится из концентрированного раствора, то сначала в сосуд заливают воду, а потом небольшими порциями добавляют концентрированный раствор. При приготовлении электролита из твердой щелочи поступают иначе: отвешенную щелочь небольшими порциями кладут в сосуд, а затем заливают ее водой. Чтобы ускорить растворение щелочи, жидкость следует размешивать стеклянной (эбонитовой) палочкой или железным прутиком.

Приготовленный электролит необходимо охладить до температуры $20 \div 30^\circ \text{C}$, измерить его плотность ареометром и довести ее до нормы.

При использовании недистиллированной воды приготовленному электролиту нужно дать отстояться до полного осветления, для чего требуется от 6 до 12 ч.

Полученный раствор осторожно слить в чистую посуду, отделив тем самым электролит от примесей. Готовый электролит следует наливать в аккумуляторы с помощью резиновой груши или воронки. Уровень электролита в аккумуляторах АКН-2,25 и НКН-10 должен быть на 5—8 мм, а в аккумуляторах других типов на 10—15 мм выше пластин.

Проверка уровня электролита производится стеклянной трубкой, которая опускается на верхнюю кромку пластин аккумулятора и зажимается пальцем. Подняв трубку, проверяют в ней уровень электролита, который равен уровню электролита над пластинами в аккумуляторе. Определение уровня электролита производится приблизительно.

Во избежание ожогов при работе со щелочью необходимо использовать резиновые фартуки, перчатки и защитные очки.

Места, пораженные электролитом, нужно промыть двухпроцентным раствором борной кислоты, а затем чистой водой.

Подготовка щелочных аккумуляторов к зарядке

Перед тем как аккумуляторные батареи поставить на заряд, необходимо:

- произвести внешний осмотр аккумуляторов и устранить замеченные неисправности, например механическую неисправность клемм, резиновые кольца, потерявшие эластичность, и др.;

- очистить аккумуляторы от грязи и пыли, ползучих солей;

- проверить плотность затяжки межэлементных соединений в батареях;

- проверить и довести до требуемых норм плотность электролита и его уровень над пластинами (если уровень ниже нормального, то долить дистиллированной воды);

- проверить электродвижущую силу E и разрядное напряжение U каждого аккумулятора, которое определяется при разрядке аккумулятора нормальным разрядным током

$$I_{\text{нр}} = \frac{Q}{8}, \quad (33,1)$$

где $I_{\text{нр}}$ — нормальный разрядный ток, а;

Q — номинальная емкость аккумулятора, а-ч.

Если U окажется ниже $1,0 \div 1,1$ в, то данный аккумулятор разряжен и подлежит зарядке.

Если при определении электродвижущей силы E в каком-либо аккумуляторе она окажется равной нулю, то пластины аккумулятора короткозамкнуты. Следовательно, данный аккумулятор к эксплуатации непригоден и его следует заменить исправным;

- согласно расчету и схеме зарядки собрать зарядные группы, учитывая степень разряженности аккумуляторов;

- проверить готовность зарядного агрегата к работе и подключить зарядные группы к нему. В нашей работе зарядным агрегатом служит газотронный выпрямитель.

Следует особенно подчеркнуть, что при зарядке аккумуляторов пробки должны быть вывернуты из крышек аккумуляторов. Пробки ввинчиваются после зарядки через 4—6 ч.

Расчет зарядных групп на заряд

Чтобы рассчитать, какое количество аккумуляторов можно одновременно заряжать от одного зарядного агрегата (исходя из его максимальной загрузки), необ-

ходимо знать: мощность генератора — P_r , его напряжение — U_r , тип аккумуляторных батарей и вид заряда.

В результате расчета должны быть определены: число аккумуляторов, которые можно включить последовательно в группу n ; число параллельных групп m ; величина сопротивления балластного реостата r_6 , с помощью которого можно поддерживать постоянство зарядного тока, и схема зарядки.

Решение

1. Число аккумуляторов n , которые можно включить последовательно в группу:

$$n = \frac{U_r}{1,8}, \quad (33.2)$$

где U_r — номинальное напряжение зарядного агрегата, в;
1,8 — напряжение на аккумуляторе в конце заряда, в.

Тогда число батарей, включенных последовательно в группу n_6 , определяется по формуле

$$n_6 = \frac{n}{\text{кол. акк. в батарее}}. \quad (33.3)$$

2. Номинальное значение тока I_r генератора зарядного агрегата

$$I_r = \frac{P_r}{U_r}. \quad (33.4)$$

3. Величина нормального зарядного тока $I_{н.з}$ для данного типа батарей

$$I_{н.з} = \frac{Q}{4}, \quad (33.5)$$

где $I_{н.з}$ — нормальный зарядный ток, а;

Q — емкость аккумуляторной батареи, а-ч.

4. Количество параллельных групп, подключенных к зарядному агрегату,

$$m = \frac{I_r}{I_{н.з}}. \quad (33.6)$$

5. Величина сопротивления балластного реостата, включаемого для каждой группы отдельно,

$$r_6 = \frac{U_r - 1,4n}{I_{н.з}}, \quad (33.7)$$

где r_6 — сопротивление балластного реостата, ом ;
 U_r — напряжение зарядного агрегата, в ;
 $1,4$ — напряжение на аккумуляторе в начале заряда, в ;
 $I_{н.з.}$ — нормальный зарядный ток, а ;
 n — количество аккумуляторов, включаемых последовательно в группу.

6. Схема подключения зарядных групп к зарядному агрегату может иметь вид (например, при $m=2$), показанный на рис. 143.

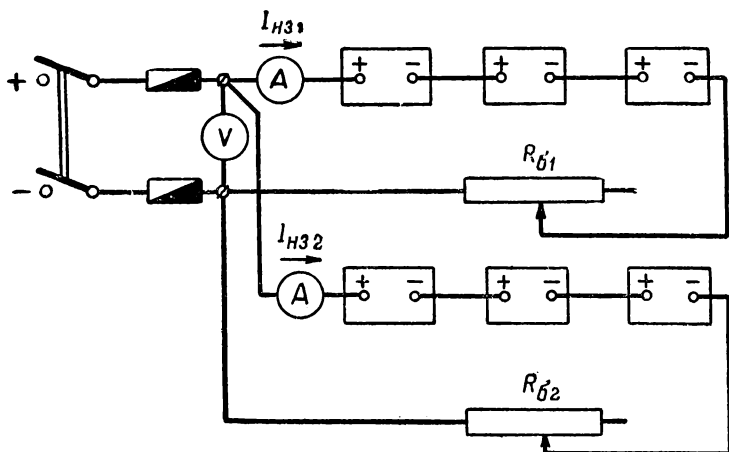


Рис. 143. Схема цепи подключения зарядных групп аккумуляторов к клеммам зарядного агрегата

Расчет следует сделать для каждого типа батарей, отличающихся по емкости, считая, что в каждую группу входят аккумуляторные батареи одной емкости (как правило). Суммарный ток всех групп не должен быть больше номинального тока зарядного агрегата, т. е.

$$I_{н.з.1} + I_{н.з.2} \leq I_r. \quad (33.8)$$

При подключении зарядной группы к щитку зарядного агрегата следует особенно тщательно проверить правильность подключения конечных выводов зарядной группы к зажимам источника электрической энергии. Положительный вывод зарядной группы (аккумуляторной батареи)

должен быть подключен к положительному зажиму источника электрической энергии, отрицательный — к отрицательному.

Порядок выполнения работы

1. Приготовить 400 см³ электролита плотностью 1,19 г/см³, используя концентрированный электролит. Готовый электролит залить в аккумулятор (предварительно тщательно промыв его дистиллированной водой). Проверить уровень и плотность электролита в аккумуляторе.

2. Подготовить аккумуляторные батареи к зарядке (см. раздел «Подготовка щелочных аккумуляторов к зарядке»).

3. Поставить аккумуляторы на зарядку, для чего:

а) произвести расчет на заряд, исходя из возможности зарядного агрегата, количества аккумуляторных батарей, их емкости и вида заряда (нормальный);

б) собрать согласно расчету зарядные группы и подключить их к зарядному агрегату. Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации зарядного агрегата;

в) получив разрешение руководителя занятия, запустить зарядный агрегат и начать зарядку (установить нормальный зарядный ток).

В результате проделанной работы составить отчет установленной формы, в котором:

- отразить расчет зарядных групп,
- вычертить схему заряда,
- заполнить журнал заряда аккумуляторных батарей (приложение 1).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 34

РЕМОНТ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Цель. Получить практические навыки по проведению текущего ремонта щелочных аккумуляторов.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Щелочные аккумуляторные батареи типа 5НКН-45 | 4 |
| 2. Пассатижи, ключ, отвертка, монтерский нож, шило | — |
| 3. Бачок для теплой воды | 1 |
| 4. Бачок для керосина | 1 |
| 5. Банка с битумным лаком | 1 |
| 6. Волосяная кисть | 1 |
| 7. Деревянные лопатки и палочки разных размеров | — |

8. Деревянная решетка и резиновый коврик —
 9. Вольтметр с нулем посередине шкалы с пределом измерения 3 в 1
 10. Ветошь Разная
- Основными источниками питания для значительного большинства средств связи являются щелочные аккумуляторы.

Нормальная работа потребителей (приемников, передатчиков и другой связной аппаратуры) во многом зависит от технического состояния аккумуляторов.

Поэтому в процессе эксплуатации щелочные аккумуляторные батареи любого типа должны периодически проходить текущий ремонт.

Перед тем как начать ремонт, необходимо определить состояние: аккумуляторов, установленных в батареи (их покраску, нет ли ржавчины и ползучих солей), эбонитовых прокладок между аккумуляторами, изоляции проводов, идущих от зажимов аккумуляторов к выводам батареи, деревянного ящика (нет ли гнилости в досках, покраску внешней и внутренней стенок ящика), рамок, на которых устанавливаются аккумуляторы, резиновых втулок на цапфах аккумуляторов (втулки должны быть целыми и без трещин), пробок (осевые и радиальные отверстия должны быть свободными от солей и грязи).

Вентильные резиновые кольца пробок, если они потеряли эластичность, подлежат замене. Резиновые шайбы (сальники пробок) заменяются новыми в случае их износа или отсутствия.

Мелкие механические повреждения, например контактных зажимов, соединительных планок, выводных клемм, крючков ящика и т. п., устраняются до покраски аккумуляторов.

Разборка аккумуляторной батареи производится в следующем порядке. Сначала снимают с выводных борнов аккумуляторов соединительные планки, вывертывают шурупы передней стенки ящика, что позволяет вынуть из него аккумуляторы.

В каждом аккумуляторе следует проверить, не замкнуты ли блоки положительных и отрицательных пластин накоротко.

Если вольтметр, подключенный к выводным борнам аккумулятора, показывает, что значение электродвижущей силы равно нулю, то данный аккумулятор бракуется и его заменяют новым.

Из всех аккумуляторов, которые будут подвергнуты ремонту, вылить электролит (энергичное потряхивание аккумулятора во время выливания электролита позволяет удалить грязь из грязевого пространства), прополоскать сосуды дистиллированной водой и вылить ее, очистить наружные стенки аккумуляторов от грязи, пыли и следов электролита.

Завернуть плотно пробки. Для того чтобы легче было удалить старую краску со стенок аккумуляторов, их следует поместить на некоторое время в бачок с горячей водой ($t = 40 \div 50^\circ \text{C}$) и при помощи деревянной лопатки соскоблить ее, после чего насухо вытереть стенки аккумуляторов. Обнаруженную ржавчину на стенках сосудов скабливают деревянной палочкой или лопаткой, а также используют для ее удаления тряпку, смоченную в керосине.

Ползучие соли (углекислые соли щелочных металлов, образующиеся при взаимодействии щелочи с углекислотой воздуха) удаляют волосяной щеткой и, если они затвердели, так же, как ржавчину, снимают при помощи деревянной палочки. После окончательной очистки аккумуляторов их необходимо протереть насухо чистой тряпкой и дать им подсохнуть. Подготовленные аккумуляторы к покраске красят битумным лаком, который наносится при помощи волосяной кисти тонким и ровным слоем на боковые стенки сосудов. Покраску следует начинать с доньшка сосуда, а потом красить боковые стенки. Битумным лаком покрывают стенки сосуда аккумулятора 2—3 раза, причем каждый последующий слой лака накладывается после достаточного просыхания предыдущего слоя.

Хорошая покраска получается при окутании аккумулятора в бачок с подогретым битумным лаком. Такой способ обычно используется, если есть достаточное количество битумного лака.

Покрашенные аккумуляторы следует располагать на деревянной решетке для сушки так, чтобы они не касались друг друга стенками.

Для того чтобы удалить соли и грязь из отверстий пробок, необходимо аккуратно снять вентильное резиновое кольцо, используя для этого шило, и при помощи деревянной палочки, смоченной в керосине, прочистить отверстия. После этого пробку насухо протереть.

Одновременно с этим определяют годность резиновой шайбы (сальника пробки), вентильного резинового кольца и при необходимости заменяют на новые.

Ремонт ящика и сборка аккумуляторов в батарею в этой практической работе не предусмотрены, но могут быть выполнены по указанию руководителя работы.

Порядок выполнения работы

1. Произвести внешний осмотр аккумуляторной батареи и определить примерный объем работы.

2. Вынуть аккумуляторы, для чего снять соединительные планки и отвернуть шурупы передней стенки ящика.

3. Проверить аккумуляторы на короткозамкнутость пластин и отобрать аккумуляторы для ремонта.

4. Отвернуть пробки и вылить электролит из аккумуляторов. Прополоскать дистиллированной водой каждый сосуд.

5. Определить годность вентильных резиновых колец, сальников пробок и, если нужно, заменить их на годные.

6. Проверить, не засорены ли отверстия пробок солями и грязью. При необходимости прочистить их. Исправленные пробки насухо вытереть тряпкой и завернуть в аккумуляторы.

7. Удалить со стенок сосудов аккумуляторов старую краску, для чего аккумуляторы на несколько минут поочередно помещать в бачок с теплой водой ($t^{\circ}=40^{\circ}\div 50^{\circ}\text{C}$) и деревянной лопаткой соскоблить краску. Насухо протереть тряпкой аккумуляторы.

8. Очистить стенки сосудов от ржавчины и ползучих солей. Насухо протереть чистой тряпкой стенки сосудов. Просушить аккумуляторы.

9. Подготовленные к покраске аккумуляторы покрыть битумным лаком и поставить для просушки на деревянную решетку (покраску произвести один раз).

В отчете по практической работе перечислить обнаруженные неисправности и пояснить порядок их устранения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 35

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ Л-3/2

Цель. Получить практические навыки в эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Двигатель внутреннего сгорания Л-3/2 или Л-6/3 | 1 |
| 2. Комплект инструмента | 1 |

- | | |
|---|---|
| 3. Комплект посуды разной емкости | 1 |
| 4. Канистра масла | 1 |
| 5. Канистра бензина | 1 |
| 6. Набор запасных частей | 1 |
| 7. Обтирочный материал | |

В полевых зарядных станциях, которые в основном используются для зарядки аккумуляторов, для приведения в движение генератора постоянного тока используется двигатель внутреннего сгорания Л-3/2 или Л-6/3.

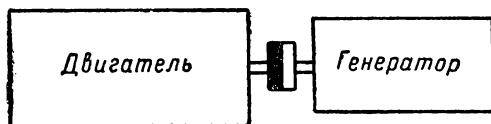


Рис. 144. Расположение двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока электросилового агрегата

Двигатель и генератор спариваются при помощи двух полужестких эластичных муфт (рис. 144). В нашей работе будет испытываться только двигатель.

Двигатели указанных типов в основном отличаются друг от друга только мощностью (Л-3/2 — 3 л. с.; Л-6/3 — 6 л. с.); в конструктивном же отношении они почти одинаковы.

В отличие от автомобильных двигателей двигатели типа Л имеют ту особенность, что при различных тормозных моментах M_t , которые создаются генератором при различных токовых нагрузках, поддерживается постоянство числа оборотов коленчатого вала двигателя, что обеспечивает получение на зажимах генератора относительно постоянного напряжения U_r . Эту задачу решает центробежный регулятор, который, автоматически изменяя мощность двигателя, поддерживает в определенных пределах постоянство числа оборотов генератора.

Неисправности, которые могут возникнуть при работе двигателя, обычно создаются в двух системах: системе зажигания и системе питания.

Методика отыскания неисправностей сводится к тому, что сначала убеждаются в исправности системы зажигания. В случае неисправности устраняют ее в этой системе, а потом только ищут неисправности в системе питания.

Характерные неисправности в системе зажигания:

— неправильно установлено зажигание (установить зажигание);

— подгорели или замаслились контакты прерывателя (зачистить контакты надфилем и протереть бензином 1-го сорта, а затем протереть насухо);

— неправильный зазор между электродами свечи (установить нормальный зазор: $0,6 \div 0,7$ мм);

— неправильный зазор между контактами прерывателя (установить нормальный: $0,25 \div 0,35$ мм), электроды свечи замкнуты нагаром, маслом (нет искрового промежутка — прочистить свечу);

— оборвана жила провода высокого напряжения (заменить провод или использовать тот же, но неисправность обязательно устранить);

— неисправна свеча (пробит изолятор свечи — заменить свечу).

Неисправности в системе питания:

— забито грязью отверстие в крышке бензобака, бензин не поступает в поплавковую камеру карбюратора (прочистить отверстие);

— засорен главный жиклер или жиклер холостого хода (продуть жиклер);

— засорен бензопровод (продуть бензопровод);

— в поплавок попал бензин, из поплавковой камеры вытекает бензин (удалить бензин из поплавка, пропаять поплавок).

Следует иметь в виду, что правильно отрегулированный двигатель не вызывает каких-либо трудностей при его эксплуатации.

Необходимо особенно подчеркнуть, что, если в процессе работы двигателя возникнут характерные металлические стуки, двигатель нужно немедленно остановить, так как это может привести к аварии. Причиной таких стуков могут быть неисправности в кривошипно-шатунном или газораспределительном механизме.

Порядок выполнения работы

1. Изучение расположения отдельных деталей и узлов двигателя Л-3/2

1) Магнето: кнопка включения зажигания, крышка прерывателя, подвижный и неподвижный контакты, полуподвижная шайба, винт, фиксирующий полуподвижную

шайбу, устройство для изменения зазора между подвижным и неподвижным контактами.

2) Муфта кулачкового валика, промежуточная муфта, стяжной болт (с гайкой) муфты.

3) Риски на маховике и на левой стороне картера. Открыть декомпрессионный краник и, медленно проворачивая коленчатый вал двигателя, рассмотреть работу прерывателя магнето.

4) Карбюратор: дроссельная и воздушная заслонки (определить начальное и конечное положение заслонок), винты регулировочные, определяющие начальное и конечное положение дроссельной заслонки, кнопка-утопитель, отверстие в крышке поплавковой камеры.

Отвернуть два винта, удерживающих поплавковую камеру, снять ее и убедиться, что главный жиклер и жиклер холостого хода не засорены. Поставить поплавковую камеру на место. Завернуть винты.

5) Центробежный регулятор: вертикальная тяга, горизонтальная тяга и крепление ее к выступу оси дроссельной заслонки.

6) Клапанная коробка: крышка клапанной коробки, толкатели клапана, пружины клапанов, зазоры между толкателями и клапанами (проверить щупом: зазор между толкателем и выпускным клапаном — 0,2 мм; зазор между толкателем и впускным клапаном — 0,3 мм).

7) Маслоуказатель, места заправки и спуска масла, бензина, воды.

2. Подготовка двигателя к работе

1) Проверить крепления двигателя и его деталей (радиатора и карбюратора).

2) Наполнить радиатор чистой водой до горловины.

3) Наполнить бензобак бензином (или долить бензин).

4) Наполнить картер двигателя чистым маслом по верхнюю риску маслоуказателя (сорт масла: зимой — автол-8, летом — автол-10).

Вычистить и протереть двигатель.

3. Пуск двигателя

1) Открыть кран бензопровода.

2) Нажать на кнопку-утопитель и держать ее до момента вытекания бензина через отверстия в крышке поплавковой камеры.

3) Закрыть воздушную заслонку карбюратора.

4) Ввести заводную рукоятку в зацепление с храповиком, повернуть ее до хода сжатия, затем быстро (рывком) повернуть коленчатый вал двигателя. После возникновения вспышки открыть воздушную заслонку.

5) Придерживая рычажок оси дроссельной заслонки карбюратора и затем закрепив его винтом, дать двигателю поработать в течение трех — пяти минут при небольших оборотах (800—1000 об/мин).

После этого винт, удерживающий ось дроссельной заслонки, отпустить и дать двигателю поработать в нормальном режиме (2200 об/мин) пять — десять минут.

4. Остановка двигателя

Двигатель можно остановить тремя способами:

1. Выключить зажигание — быстрая остановка (нажать на кнопку выключения зажигания).

2. Закрыть кран бензопровода.

3. Прикрыть одновременно дроссельную и воздушную заслонки.

5. Проверка установки зажигания

1) Открыть декомпрессионный краник.

2) Провернуть маховик (по ходу вращения коленчатого вала) до положения, при котором риска 3 на маховике совпадает с риской на картере с левой стороны двигателя (в конце такта сжатия).

3) Открыть крышку прерывателя магнето и убедиться, что этому положению поршня соответствует начало разрыва между подвижным и неподвижным контактами.

4) Проверить наибольший зазор между подвижным и неподвижным контактами с помощью щупа (0,3 мм). Если пункты 3 и 4 выполняются, то установка зажигания произведена правильно, если нет — то неправильно.

5) Запустить двигатель и убедиться, что установка зажигания произведена правильно.

6. Установка зажигания

После того как будет нарушена установка зажигания (лаборантом), произвести установку зажигания в следующем порядке:

1) Провернуть маховик по ходу вращения коленчатого вала до положения, при котором риска 3 на маховике совпадает с риской на картере с левой стороны двигателя в конце такта сжатия.

2) Ослабить стяжной болт муфты кулачкового валика.

3) Провернуть якорь магнето (отверткой) по направлению его вращения до момента размыкания контактов прерывателя и, удерживая якорь магнето в этом положении, затянуть стяжной болт муфты. Вновь проверить установку зажигания.

4) Проверить наибольший зазор между подвижным и неподвижным контактами с помощью щупа. Если зазор окажется большим или меньшим, то установить нормальный (0,3 мм).

5) Запустить двигатель и убедиться, что установка зажигания произведена правильно.

7. Обнаружение и устранение неисправностей в двигателе

После того как лаборант внесет неисправность в двигатель, обнаружить ее и устранить. Запустить двигатель и убедиться в исправности его.

8. Ежедневное обслуживание по окончании работы двигателя

1) Проверить все крепления в двигателе и устранить обнаруженные неисправности.

2) Проверить и дозаправить системы смазки, питания, охлаждения соответственно маслом, бензином, водой.

3) Представить лаборанту работающий двигатель.

4) Вычистить и протереть двигатель. Сдать лаборанту двигатель и инструмент.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 36

ПОЛЕВАЯ ЗАРЯДНАЯ СТАНЦИЯ

Цель. Получить практические навыки в развертывании, эксплуатации и свертывании полевой зарядной станции.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Полевая зарядная станция ПЗС-1,5 или ПЗС-3 . . . | 1 |
| 2. Комплект инструмента | 1 |

3. Набор приспособлений для проведения зарядки щелочных аккумуляторов 1
4. Щелочные аккумуляторные батареи различных типов (комплект) 1
5. Бутыл с дистиллированной водой 1
6. Бутыл с концентрированным электролитом КОН . 1
7. Обтирочный материал

Полевые зарядные станции (ПЗС) широко используются в войсках. Эти станции позволяют одновременно производить зарядку и разрядку аккумуляторов, а также питать электроэнергией временные электроосветительные сети.

В состав ПЗС входит: бензоэлектрический агрегат, зарядно-распределительное устройство (ЗРУ) и ЗИП (запасное имущество, приспособления, инструмент и документация).

При перевозке имущества зарядно-технической базы (ЗТБ), в которую входит ПЗС, его погрузке и разгрузке необходимо соблюдать осторожность. Располагать имущество ЗТБ на автомобиле нужно так, чтобы исключить возможность нанесения травм обслуживающему персоналу и механических повреждений отдельным деталям станции.

Особенную осторожность следует соблюдать при перевозке стеклянных флаконов, в которых находится концентрированный электролит. Следует помнить, что электролит, попав на кожу, вызывает ожоги.

По прибытии на место, где будет размещена ЗТБ, нужно выбрать место для ее развертывания, подготовить укрытие, в котором будет размещено все имущество ЗТБ. Горюче-смазочные материалы следует располагать в отдельных ровиках на безопасном расстоянии (15—20 м) от укрытия.

Расположение отдельных частей станции и зарядных групп, а также расстояние между ними показано на рис. 145 (вариант).

Полевые зарядные станции ПЗС-1,5 и ПЗС-3, эксплуатируемые в войсках, отличаются друг от друга только мощностью и имеют следующие технические характеристики:

ПЗС-1,5 — $P = 1,5 \text{ кВт}$; $U = 120 \text{ в}$; $I = 12,5 \text{ а}$;

ПЗС-3 — $P = 3,0 \text{ кВт}$; $U = 120 \text{ в}$; $I = 25 \text{ а}$.

Расчет зарядных групп для данного типа станции производится из условия использования максимальной мощности генератора, причем предполагается, что в каждую группу ЗРУ (зарядно-распределительное устройство)

включаются аккумуляторы на заряд, как правило, только одной емкости. Исходными данными для расчета являются: тип станции (P , U), тип аккумуляторных батарей, подлежащих заряду, и вид заряда.

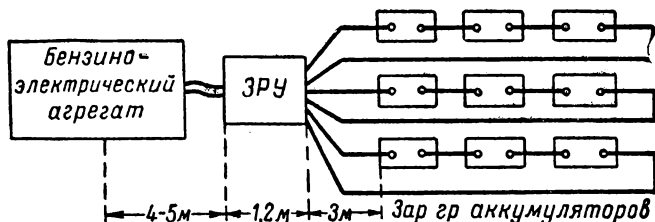


Рис. 145. Взаимное расположение отдельных частей зарядной станции и зарядных групп аккумуляторов (вариант)

В результате расчета должно быть определено:

— количество аккумуляторов n , а следовательно, и количество аккумуляторных батарей n_6 , включаемых последовательно в группу;

— количество групп m аккумуляторов, которые одновременно можно поставить на заряд.

Решение

1. В каждую группу ЗРУ любой станции можно включить последовательно не более 66 аккумуляторов. Действительно,

$$n = \frac{U}{1,8}, \quad (36.1)$$

где n — количество аккумуляторов, включаемых последовательно;

U — номинальное напряжение генератора, в;

1,8 — напряжение на зажимах аккумулятора в конце заряда, в.

Для станции ПЗС $U = 120$ в. Следовательно,

$$n = \frac{120}{1,8} = 66 \text{ акк.} \quad (36.2)$$

Тогда количество аккумуляторных батарей n_6 , включаемых в одну группу, можно определить по следующей формуле:

$$n_6 = \frac{n}{\text{число акк. в батарее}} \quad (36.3)$$

или

$$n_6 = \frac{66}{\text{число акк. в батарее}}. \quad (36.4)$$

2. Зная, на какие максимальные токи рассчитана каждая из трех групп ЗРУ и величину зарядного тока для данного типа батареи, определяем, в какую из этих групп следует подключить зарядную группу.

Величина зарядного тока при этом не должна быть больше номинальной величины тока в данной группе.

Суммарный ток всех трех групп ЗРУ не должен быть больше номинального значения тока $I_{\text{ном}}$, который вырабатывает генератор станции:

$$I_{\text{гр1}} + I_{\text{гр2}} + I_{\text{гр3}} \leq I_{\text{ном}}. \quad (36.5)$$

Если одновременно с зарядкой часть электрической энергии используется для питания временных осветительных сетей, то уравнение (36.5) принимает вид

$$I_{\text{гр1}} + I_{\text{гр2}} + I_{\text{гр3}} + I_{\text{осв}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (36.6)$$

где $I_{\text{осв}}$ — величина тока в цепи наружного освещения. Величины сопротивлений реостатов отдельных групп ЗРУ не рассчитываются, так как они специально предназначены для таких токовых режимов.

Заряд аккумуляторов необходимо всегда доводить до конца. Конец зарядки определяется не только по времени, но и проверкой напряжения на каждом аккумуляторе в конце зарядки — оно должно быть равным 1,8 в. При этом напряжении необходимо продолжать зарядку еще 30 мин, а затем зарядку прекратить. Пробки после зарядки не следует завинчивать в крышки аккумулятора в течение 4—6 ч, чтобы газы полностью улетучились из аккумуляторов. Если аккумуляторы нужно транспортировать сразу после зарядки, то их предварительно разряжают нормальным разрядным током I_p в течение 10—15 мин, после чего завинчивают пробки и удаляют разлитый электролит с крышек аккумуляторов. Необходимо иметь в виду, что при заряде аккумуляторов с одной радиостанции их необходимо заряжать в одной зарядной группе, не разбивая аккумуляторные батареи по разным группам ЗРУ.

Порядок выполнения работы

Учебная группа разбивается на отдельные команды, личный состав которых состоит из начальников ЗТБ и электромехаников.

Начальник ЗТБ, получив указание руководителя занятия, действует согласно прилагаемому заданию.

Задание начальнику зарядно-технической базы

1. Получить материальную часть ЗТБ (приложение 2) со склада и проверить ее.

2. Сосредоточить полученную материальную часть в месте расположения станции силами личного состава ЗТБ.

3. Развернуть станцию и замаскировать ее. Назначить дежурных по станции и установить очередность их смены.

4. Подготовить аккумуляторные батареи к зарядке, собрать их в зарядные группы, предварительно произведя соответствующий расчет и вычертив схему зарядки. Зарядные группы присоединить к ЗРУ.

5. По указанию преподавателя пустить станцию в ход. В процессе зарядки аккумуляторов периодически, через каждый час работы, производить измерения уровня, плотности электролита и напряжения на каждом аккумуляторе, не прекращая зарядки. Во время зарядки аккумуляторов дежурному по станции необходимо следить за постоянством зарядного тока в каждой группе и за работой бензоэлектрического агрегата.

6. В конце работы станции по указанию руководителя работы поставить аккумуляторы на разрядку и разряжать их нормальным разрядным током в течение 15 мин, после чего остановить станцию.

7. Очистить материальную часть от пыли и грязи, разлитого электролита и сосредоточить ее у склада.

Материальную часть сдать лаборанту согласно описи.

Заполнить формуляры аккумуляторов и журнал заряда аккумуляторов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 37

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ БЕНЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АГРЕГАТА АБ-2-0/230

Цель. Получить практические навыки в испытании однофазного синхронного генератора с самовозбуждением бензоэлектрического агрегата типа АБ-2-0/230 и снятии внешних характеристик.

Материальное обеспечение:

- | | |
|--|---|
| 1. Передвижная электростанция АБ-2-0/230 | 1 |
| 2. Ламповый реостат | 1 |
| 3. Комплект инструмента | 1 |

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 4. Магазин емкостей | 1 |
| 5. Магазин индуктивностей | 1 |
| 6. Канистра масла | 1 |
| 7. Канистра бензина | 1 |
| 8. Обтирочный материал | |

Для питания некоторых радиостанций и для освещения переменным однофазным током с частотой $f=50$ гц применяют специальные электростанции. Обычно они конструктивно выполняются в виде отдельных бензоэлектрических

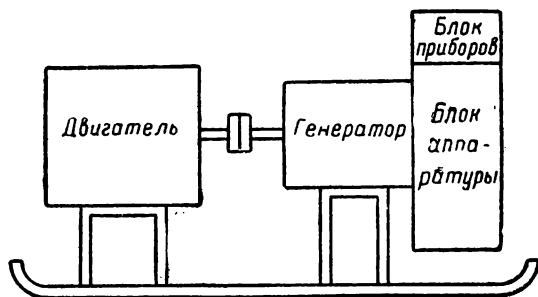


Рис. 146. Бензоэлектрический агрегат типа АБ-2-0/230

агрегатов. К такой серии передвижных электростанций принадлежит исследуемая станция АБ-2-0/230 (бензоэлектрический агрегат мощностью 2 кВт, однофазный, напряжением 230 в).

Техническая характеристика АБ-2-0/230. Номинальная мощность 2 кВт; род тока — переменный однофазный; номинальное напряжение — 230 в; величина тока при индуктивной нагрузке (при $\cos \varphi = 1,0 \div 0,8$) $I = 8,7 \div 10,9$ а; частота тока $f=50$ гц (частота тока может быть увеличена за счет увеличения числа оборотов двигателя на 2,5 гц); число оборотов ротора генератора $n=3000$ об/мин. Выходное напряжение при любом виде нагрузки и $\cos \varphi = 0,8 \div 1,0$ может регулироваться в пределах $230 \div 218$ в.

Стабилизация напряжения в определенных пределах осуществляется автоматически. При изменении токовых нагрузок от холостого хода до номинальной нагрузки напряжение изменяется в пределах $\pm 4\%$ от величины поддерживаемого напряжения.

Станция состоит из следующих четырех частей (рис. 146):

1. Двигатель УД-1 (бензиновый, четырехтактный с воздушным охлаждением, мощностью 4 л. с.).

2. Генератор.

3. Блок аппаратуры.

4. Блок приборов.

Генератор, спаренный с двигателем внутреннего сгорания, однофазный, с самовозбуждением, типа ССГ фланцевого исполнения. Ротор имеет явно выраженные полюса. В пазах статора уложены две обмотки: силовая (основная), в цепь которой включается потребитель, и дополнительная, предназначенная для питания обмотки возбуждения. Обе обмотки расположены относительно друг друга на 90° .

Блок аппаратуры генератора представляет собой металлический корпус, в котором размещена аппаратура управления. На правой боковой стенке корпуса имеется ниша, в которой находятся приборы управления генератора (рис. 147).

На левой боковой стенке корпуса имеется вторая ниша, в которой размещены штепсельная розетка переносной лампы и держатель предохранителя.

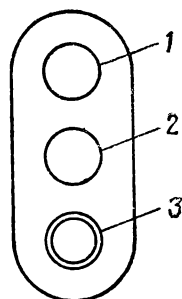


Рис. 147. Ниша с приборами управления генератора:

1 — толкатель кнопки возбуждения; 2 — ручка реостата регулировки напряжения; 3 — ручка регулировки компаундирующего сопротивления, закрытого колпачком

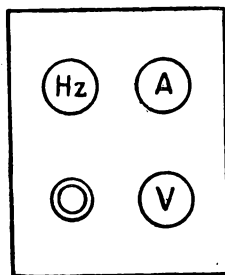


Рис. 148. Блок приборов

Над нишей расположено приспособление для крепления кабеля на грузки.

Блок приборов выполнен в виде металлической коробки с двумя нишами, закрытыми крышками (рис. 148).

В левой нише — выключатель нагрузки и панель с выходными зажимами. Выключатель нагрузки имеет следующие фиксированные положения: ВКЛЮЧЕНО и ВЫКЛЮЧЕНО.

Она может быть подразделена на три основные цепи: силовую цепь, цепь возбуждения генератора и цепь освещения.

Силовая, так же как и дополнительная, обмотка гене-

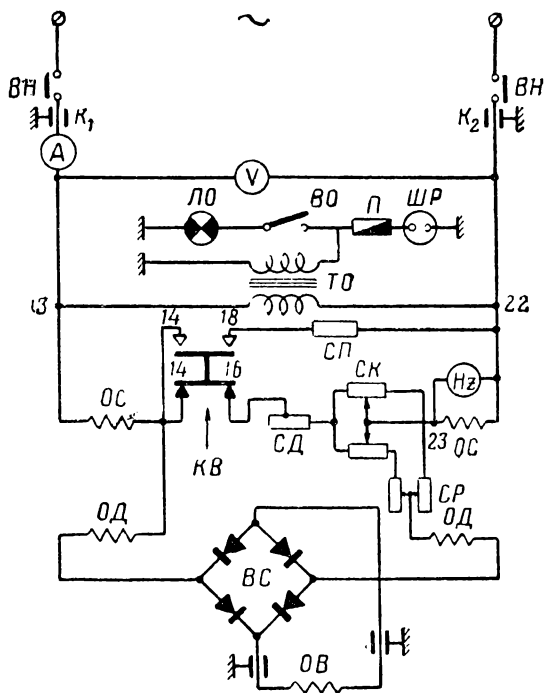


Рис. 149. Принципиальная схема бензоэлектрического агрегата типа АБ-2-0/230:

ОС — обмотка иловая; ОД — обмотка дополнительная; ОВ — обмотка возбуждения; СД — дугиравый резистор; СД — добавочное сопротивление; СК — сампаулирующее сопротивление; СП — постоянное сопротивление; КВ — кнопка возбуждения; ВС — выпрямитель селеновый; ТО — осветительный трансформатор; ЛО — осветительная лампочка; ВО — выключатель освещения; П — предохранитель; К₁, К₂ — конденсаторы; Hz — частотомер

ратора (ОС) симметрирована (разделена на две части) для уменьшения радиопомех, создаваемых генератором при его работе.

В разрыв силовой обмотки между точками 14 и 23 включены компаундирующее сопротивление (СК), добавочное сопротивление (СД) и нормально замкнутый контакт кнопки возбуждения (КВ).

Обмотка возбуждения генератора (ОВ) питается через селеновый выпрямитель (ВС) от дополнительной обмотки генератора (ОД). В цепь возбуждения включен реостат регулирования напряжения (СР).

Все потребители цепи освещения питаются от осветительного трансформатора (ТО), первичная обмотка которого подключена к выходным зажимам генератора (13, 22).

Цепь вторичной обмотки трансформатора — однопроводная. Самовозбуждение синхронного генератора происходит аналогично самовозбуждению генератора постоянного тока. Для надежного самовозбуждения генератора на роторе установлены постоянные магниты и предусмотрено специальное переключение схемы.

При нажатии на кнопку возбуждения (КВ) цепь возбуждения оказывается включенной через селеновые выпрямители последовательно с половиной силовой обмотки генератора (ОС).

Как только генератор будет возбужден (фиксируется по показанию вольтметра), кнопку возбуждения нужно отпустить; при этом контакты (КВ) соединят последовательно через добавочное сопротивление (СД) и компаундирующее сопротивление (СК) половины силовых обмоток, и напряжение, снимаемое с них, будет подаваться на сопротивление нагрузки. Время возбуждения 2—3 сек. Как только возбудится генератор, можно при помощи реостата возбуждения (СР) установить нужное первоначальное напряжение.

Постоянство напряжения при изменении величины тока I нагрузки поддерживается путем автоматической регулировки тока $I_{\text{в}}$ возбуждения. При увеличении тока I во внешней цепи и уменьшении $\cos \varphi$ ток возбуждения $I_{\text{в}}$ возрастает, и, наоборот, при уменьшении I и увеличении $\cos \varphi$ он уменьшается.

Изменение $I_{\text{в}}$ с изменением нагрузки генератора осуществляется с помощью компаундного активного сопротивле-

ния (СК и СД), включенного в цепь силовой обмотки генератора (рис. 149).

Не делая существенной ошибки в наших рассуждениях, можно считать, что ток I нагрузки почти полностью проходит по компаундирующему сопротивлению (СК), создавая при этом определенное падение напряжения U_K на нем:

$$U_K = Ir_K. \quad (37.1)$$

Напряжение, прикладываемое через выпрямительное устройство к сопротивлению обмотки возбуждения, будет пропорционально геометрической сумме двух напряжений: напряжению на компаундирующем сопротивлении U_K и напряжению $U_{од}$, создаваемому дополнительной обмоткой:

$$\bar{U}_{ов} = \bar{U}_{од} + \bar{U}_K. \quad (37.2)$$

С ростом I уменьшается напряжение на зажимах генератора U (так как возрастает падение напряжения на внутреннем сопротивлении генератора, увеличивается реакция якоря), но одновременно возрастает U_K и, как след-

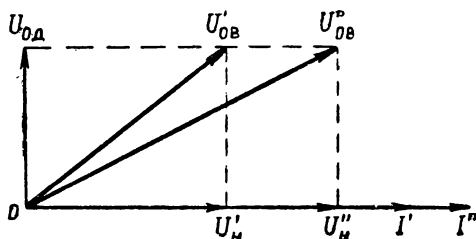


Рис. 150. Векторная диаграмма токов и напряжений, иллюстрирующая стабилизацию напряжения на зажимах генератора

ствие этого, ток I_B возбуждения. Это приводит к приращению магнитного потока $\Delta\Phi$ машины, а следовательно, ЭДС генератора E .

Благодаря этому напряжение U на зажимах генератора в определенных пределах будет поддерживаться постоянным.

При уменьшении I процесс стабилизации возрастающего напряжения U будет происходить в обратном порядке.

Очевидно, в этом случае ток I_B возбуждения будет падать и U генератора вновь будет поддерживаться постоянным.

Рассмотрим, как происходит стабилизация напряжения

при активной нагрузке, подключенной к генератору (I и U совпадают по фазе, $\varphi=0$) (рис. 150).

С ростом I возрастают $U_{\text{ов}}$ и ток возбуждения $I_{\text{в}}$. Действительно, при I' напряжение, прикладываемое к сопротивлению обмотки возбуждения, будет $U'_{\text{ов}}$, при I'' оно возрастает до $U''_{\text{ов}}$. Соответственно с этим $I'_{\text{в}}$ будет больше $I''_{\text{в}}$.

Следовательно, при одновременном возрастании I и уменьшении U растут $U_{\text{ов}}$, $I_{\text{в}}$ и, как следствие этого, ЭДС генератора E , что и приводит к автоматической стабилизации напряжения на зажимах генератора.

Таким образом, компаундирующие сопротивления (СК и СД) выполняют по сути дела ту же роль, что и серийная обмотка в компаундном генераторе, т. е. поддерживают напряжение на зажимах генератора при изменении токовых нагрузок I в определенных границах.

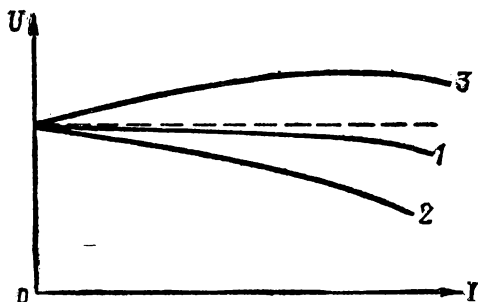


Рис. 151. Внешние характеристики генератора:

1 — при активной нагрузке; 2 — при активно-индуктивной нагрузке; 3 — при активно-емкостной нагрузке

При рассмотрении векторной диаграммы следует иметь в виду, что силовая обмотка расположена на девяносто электрических градусов относительно дополнительной обмотки, поэтому $U_{\text{к}}$ и $U_{\text{од}}$ сдвинуты относительно друг друга по фазе на $\frac{\pi}{2}$.

Однако полной компенсации изменения напряжения на зажимах генератора получить не удастся, так как в процессе работы генератора величина компаундирующего сопротивления изменяется вследствие различных температурных режимов и других факторов.

Технические условия допускают колебания напряжения на зажимах генератора в пределах $\pm 4\%$ от стабилизируемого напряжения, причем закон изменения напряжения будет зависеть от характера нагрузки. Внешние характеристики $U=f(I)$ при $r_{ов}=\text{const}$ и $n=n_n=\text{const}$ для данного генератора изображены на рис. 151.

Порядок выполнения работы

Детально рассмотреть устройство и электрическую схему АБ-2-0/230.

1. Подготовить двигатель УД-1 к работе. Собрать схему с активно-емкостной нагрузкой (рис. 152) и подсоединить

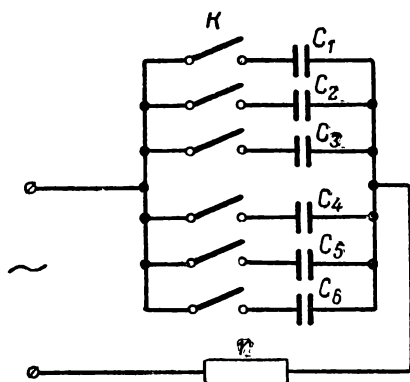


Рис. 152. Цепь с активно-емкостной нагрузкой

ее к зажимам генератора, предварительно поставив выключатель нагрузки в положение ВЫКЛЮЧЕНО. Заземлить корпус агрегата.

2. Запустить двигатель и установить нормальные обороты.

3. Нажать кнопку возбуждения (КВ), возбудить генератор и установить по вольтметру $U=220$ в.

Проверить по частотомеру частоту тока и, если она окажется не равной

50 гц, путем ручного регулирования числа оборотов n двигателя довести ее до нормы.

4. Выключатель нагрузки поставить в положение ВКЛЮЧЕНО. Изменяя емкость цепи C (в пределах, указанных руководителем работы) при помощи включения различного числа конденсаторов магазина емкостей, замерить по приборам: I , U .

Данные опыта записать в табл. 1.

Таблица 1

№ измерения	C , мкф	I , а	U , в	L , гн	I , а	U , в	R , ом	I , а	U , в	Примечание

Выключить схему, для чего выключатель нагрузки поставить в положение ВЫКЛЮЧЕНО.

5. Собрать схему с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 153) и подключить ее к зажимам генератора. Согласно п. 4 произвести измерение I и U , изменяя индуктивность L цепи. Данные опыта записать в табл. 1. Выключить схему.

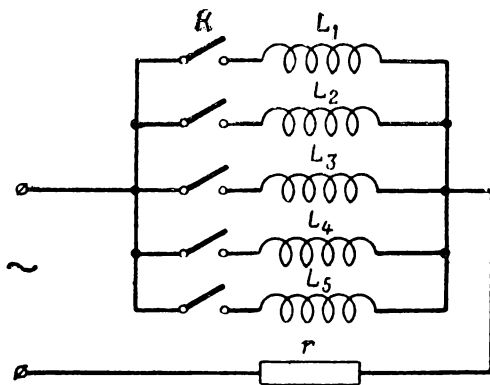


Рис. 153. Цепь с активно-индуктивной нагрузкой

6. Собрать схему с активной нагрузкой (рис. 154) и подключить ее к зажимам генератора. Согласно п. 4 произвести измерение U и I , изменяя величину активного сопротивления. Данные опыта записать в табл. 1. Выключить схему.

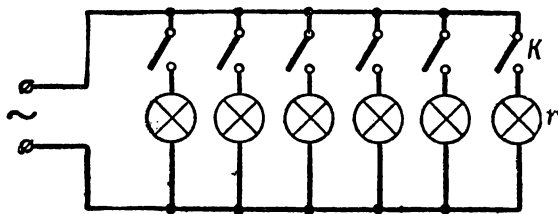


Рис. 154. Цепь с активной нагрузкой

7. Остановить двигатель. Вычистить и протереть агрегат. Сдать его лаборанту.

По опытным данным в одной системе координат по-

строить три внешние характеристики для различных видов нагрузок:

$$U = f(I) \text{ при } r_{\text{ов}} = \text{const и } n = n_n = \text{const.}$$

8. В выводах по работе пояснить характер изменения напряжения U с изменением тока I во внешней цепи при различных нагрузках, вычертить схемы, по которым производились испытания генератора, таблицу опытных данных и графики. Кратко перечислить порядок подготовки, пуска, контроля за работой и остановки агрегата АБ-2-0/230.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 38

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ АЛД-20

Цель. Получить практические навыки в запуске, контроле за работой и остановке станций.

Материальное обеспечение:

- | | |
|---|---|
| 1. Агрегат питания АЛД-20 | 1 |
| 2. Инструкция по эксплуатации агрегата питания АЛД-20 | 1 |
| 3. Схема электрической части агрегата питания АЛД-20 | 1 |
| 4. Схема электрооборудования дизеля агрегата питания АЛД-20 | 1 |

Для питания специальной радиотехнической аппаратуры переменным трехфазным током с частотой 50 гц используются дизельные электростанции (агрегаты питания).

Примером такой электростанции может служить агрегат питания АЛД-20, техническая характеристика которого следующая: мощность 10 кВт; напряжение 230 в; величина тока при $\cos \varphi = 0,8$ $I = 31,4$ а; частота тока $f = 50$ гц; род тока — трехфазный, число оборотов 1500 об/мин.

Двигателем внутреннего сгорания служит дизель марки 5П4-4ч 8,5/11 мощностью 20 л. с., который спарен при помощи муфты с синхронным генератором трехфазного тока с самовозбуждением СГС-12,5 (рис. 155).

Дизель снабжен всережимным регулятором центробежного действия, который обеспечивает постоянство числа оборотов агрегата питания при любых тормозных моментах, создаваемых синхронным генератором.

Основными элементами электрической части агрегата питания являются:

1. Синхронный трехфазный генератор с самовозбуждением типа СГС-12,5, принципиальная схема которого изоб-

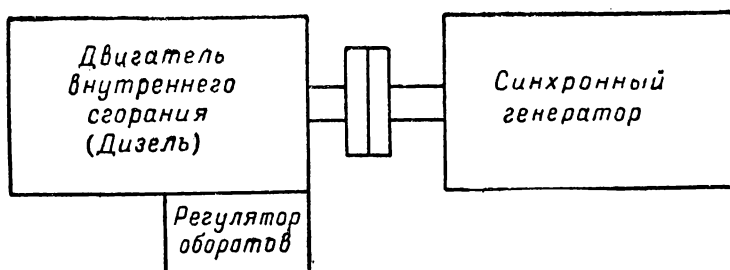


Рис. 155. Взаимное расположение дизеля и синхронного генератора электростанции АД-20

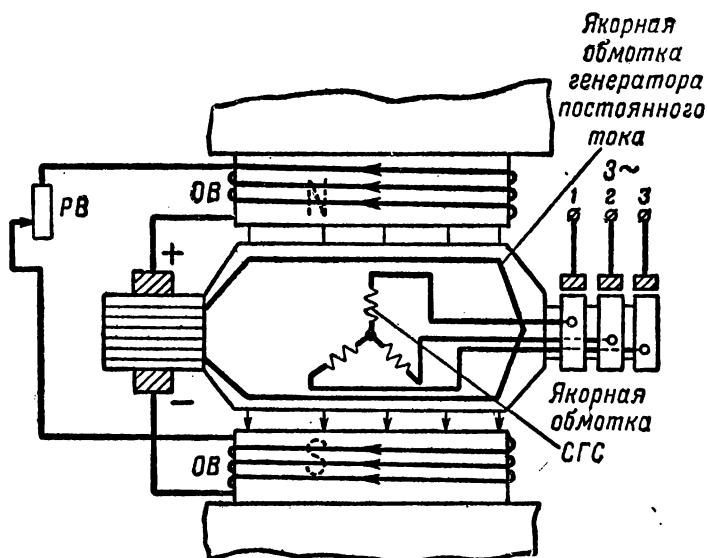


Рис. 156. Принципиальная схема синхронного трехфазного генератора типа СГС-12,5:

ОВ — обмотка возбуждения; РВ — регулировочный реостат в цепи возбуждения; 1, 2, 3 — клеммы подключения потребителя

ражена на рис. 156. Как видно из рисунка, конструкция машины такова, что одна ее часть выполняет функцию генератора постоянного тока, а другая — синхронного генератора с самовозбуждением. Соединение фаз генератора осуществлено по схеме «звезда».

2. Щит управления (рис. 157).

3. Шунтовой реостат РВ генератора постоянного тока.

4. Генератор Г-21, предназначенный для зарядки аккумуляторной батареи 6СТЭ-128.

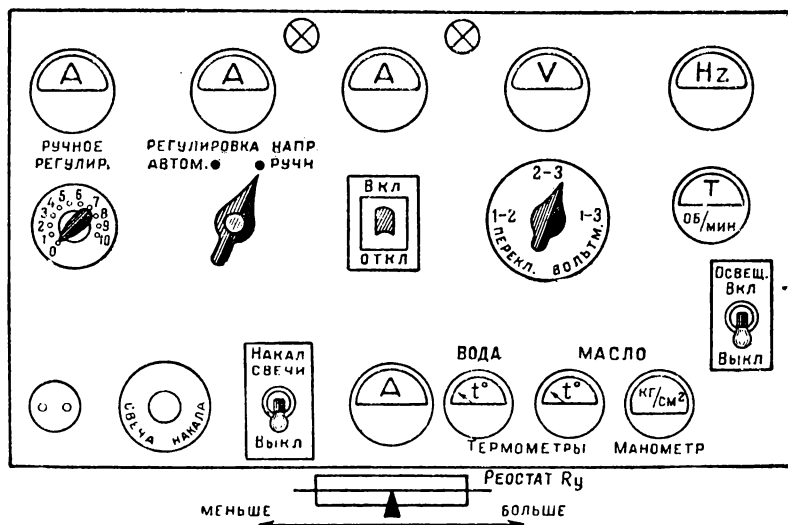


Рис. 157. Щит управления электростанции АЛД-20

5. Аккумуляторная батарея 6СТЭ-128.

6. Реле регулятора РР-20.

Принципиальная электрическая схема синхронного генератора с измерительными приборами, аппаратурой управления, регулирования и контроля работы изображена на рис. 158. Схема имеет следующие самостоятельные цепи:

а) цепь постоянного тока для возбуждения генератора напряжением 100 в;

б) цепь переменного тока напряжением 230 в.

В цепь постоянного тока для возбуждения генератора входят: шунтовой реостат РВ грубой регулировки напряжения, реостат РР точной регулировки напряжения при ручном регулировании, угольный столб регулятора напря-

жения РУН-131, шунтовая обмотка возбуждения и якорная обмотка.

Регулирование напряжения может быть автоматическое при помощи РУН-131 и ручное при помощи шунтового реостата РВ грубой регулировки и реостата РР точной регулировки. Переключение с автоматической регулировки на ручную осуществляется переключателем ПК-3.

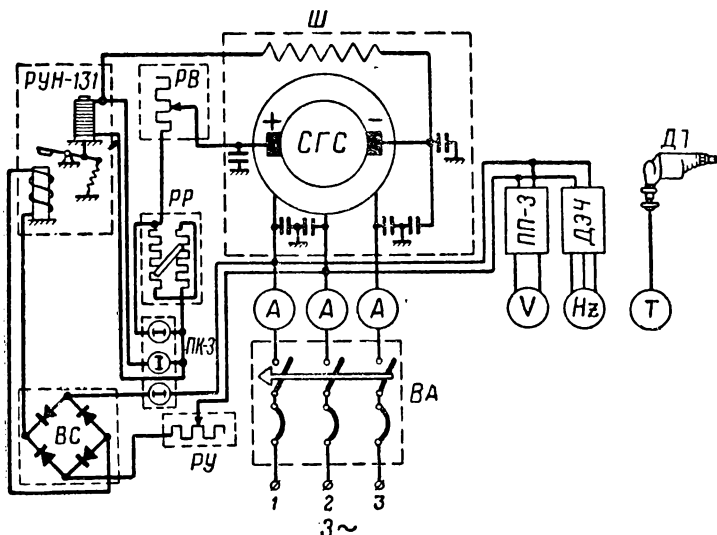


Рис. 158. Принципиальная электрическая схема синхронного генератора:

СГС — генератор СГС-12,5; Ш — шунтовая обмотка возбуждения; РУН-131 — угольный регулятор напряжения; РВ — шунтовый реостат; ВА — выключатель автоматический, воздушный; РУ — реостат установки напряжения; ВС — выпрямитель селеновый; РР — реостат точного регулирования напряжения; ПК-3 — переключатель пакетный для перехода с ручного регулирования на автоматическое и обратно; А — амперметры фаз; V — вольтметр; ПП-3 — пакетный переключатель вольтметра; Hz — частотомер; ДЭЧ — добавочное устройство частотомера; Т — тахометр; ДТ — датчик тахометра; 1, 2, 3 — клеммы подключения потребителя

Цепь переменного тока состоит из силовой цепи для питания потребителей и вспомогательных цепей: цепи селенового выпрямителя ВС, в которую включен реостат РУ установки напряжения, цепи вольтметра, цепи частотомера с добавочным устройством ДЭЧ.

В качестве источников питания системы электрооборудования дизеля служат аккумуляторная батарея 6СТЭ-128 и генератор Г-21 (рис. 159). Аккумуляторная батарея пи-

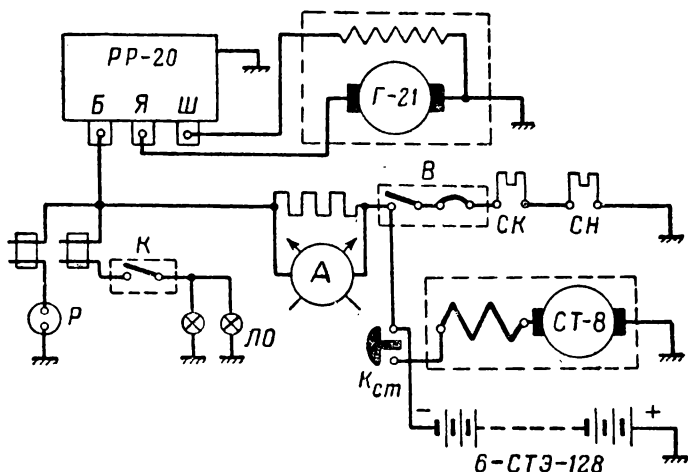


Рис. 159. Принципиальная схема системы электропитания дизеля:

Г-21 — генератор постоянного тока с параллельным возбуждением ($U=12$ в); PP-20 — реле-регулятор; СТ-8 — пусковой стартер; $K_{ст}$ — кнопка включения стартера; 6-СТЭ-128 — аккумуляторная батарея; В — выключатель цепи свечей накала; СК — свеча накала контрольная; СН — свеча накала двигателя; К — выключатель освещения; ЛО — лампы освещения; А — амперметр; Р — розетка переключения лампы

тает стартер СТ-8, накаливающие свечи, установленные в цилиндрах дизеля, лампы освещения ЛО и переносную лампу. Контроль заряда и разряда аккумуляторной батареи осуществляется с помощью амперметра (рис. 159).

Эксплуатация агрегата питания

Эксплуатация агрегата питания АД-20 должна проходить строго по инструкциям завода-изготовителя, с которыми следует ознакомиться перед работой.

Перед работой агрегат питания должен быть установлен горизонтально и **надежно заземлен**.

Практическая работа проводится под наблюдением опытного дизелиста по плану проведения практической работы, утвержденному руководителем занятия.

Порядок выполнения работы

1. Изучить расположение отдельных деталей и агрегатов дизельной электростанции АД-20.

1) Щит управления: шунтовой реостат РВ; рукоятка ручной регулировки напряжения «ручная регулировка»

(реостат *РР*); реостат *РУ*; переключатель регулировки напряжения (АВТОМ. — РУЧН.); измерительные приборы: амперметры фаз *А*, вольтметр, переключатель вольтметра ПП-3, частотомер, угольный регулятор напряжения РУН-131.

Приборы для контроля за работой дизеля: дистанционные термометры для наблюдения за температурой воды и масла; манометр для измерения давления масла; амперметр для контроля за зарядкой аккумуляторной батареи и работой генератора Г-21; тахометр для измерения числа оборотов коленчатого вала дизеля; свеча накала; выключатель для свеч накала; выключатель освещения.

2) Синхронный генератор СГС-12,5: прочесть паспортные данные генератора; определить положение трех колец и щеток, коллектора и щеток, обмоток возбуждения генератора постоянного тока, щитка подключения проводов, идущих к сопротивлению нагрузки.

3) Регулятор числа оборотов дизеля; генератор Г-21; стартер СТ-8; аккумуляторная батарея 6СТЭ-128.

4) Приборы управления пуском и остановкой дизеля: кнопка стартера (включение стартера); выключатель свечей накала; рукоятка декомпрессионного устройства; штурвал регулировки числа оборотов коленчатого вала дизеля; рычаг остановки двигателя.

5) Места заправки и спуска охлаждающей жидкости, масла и топлива.

6) Ручной насос для перекачки антифриза по системе охлаждения дизеля (используется в зимних условиях).

7) Топливный бак, запасные топливные баки, ручной топливоподкачивающий насос для перекачки топлива из запасных баков в бак двигателя.

2. Подготовить дизель к работе. По условиям эксплуатации агрегата дизель должен быть полностью подготовлен к работе дизелистом.

Обучаемым проверить:

а) уровень топлива в топливном баке, уровень масла в картере двигателя (уровень масла должен доходить до верхней метки маслошупа);

б) уровень охлаждающей жидкости в верхней горловине радиатора.

Если уровень масла, топлива и охлаждающей жидкости ниже нормы, систему следует дозаправить.

3. Запустить дизель. 1) Проверить, подключены ли кабели внешней цепи (если не подключены, то подключить).

2) Убедиться, что рычаг автоматического выключателя стоит в положении **ВЫКЛЮЧЕНО**.

3) Рукоятку переключателя регулировки напряжения поставить в положение **РУЧНАЯ РЕГУЛИРОВКА**.

4) Ввести шунтовой реостат *РВ*.

5) Рукоятку реостата *РР* установить указателем на нулевое деление шкалы.

6) Включить свечи накала и по контрольной спирали на щите управления убедиться в наличии накала.

7) Повернуть рукоятку декомпрессионного устройства вверх.

8) Нажать на кнопку стартера и, как только дизель заведется, отпустить кнопку стартера и выключить свечи накала.

9) После того как коленчатый вал дизеля будет иметь 100—130 *об/мин* и давление масла по манометру поднимется до 0,5—1,0 *кг/см²*, выключить декомпрессию путем поворота рукоятки декомпрессионного устройства вниз.

10) Штурвалом регулировки числа оборотов увеличить число оборотов до 700—900 *об/мин* (фиксируется по тахометру) и на этих оборотах дать поработать двигателю 15—20 *мин*. После этого увеличить обороты до нормальных (1500 *об/мин*) и на этих оборотах работать до тех пор, пока дизель не прогреется, т. е. температура масла не достигнет 20—30° С, а температура воды не станет равной 35—40° С.

Давление масла при этом достигнет 2,0—2,3 *кг/см²*.

После прогрева двигателя можно включать электрическую часть агрегата питания.

4. Включить электрическую часть агрегата питания, для чего:

1) Перемещением движка шунтового реостата *РВ* установить рабочее напряжение, равное 230 *в*. Для более точной установки напряжения использовать реостат *РР*.

2) По частотомеру проверить частоту переменного тока и, если есть отклонение от нормы, изменением числа оборотов дизеля установить нормальную, т. е. $f=50$ *гц*.

3) Перейти на автоматическое регулирование напряжения, для чего:

а) поставить рукоятку переключателя регулировки напряжения в положение **АВТОМ.**;

б) движок шунтового реостата *РВ* установить в крайнее правое положение **ВЫШЕ**;

в) перемещением движка реостата *РУ* установить рабочее напряжение;

г) если потребитель готов к принятию нагрузки, включить автомат *ВА*, т. е. поставить его рычаг в положение *ВКЛ*.

4) Перейти с автоматической регулировки на ручную, для чего:

а) перемещением движка шунтового реостата *РВ* в положение *НИЖЕ* полностью его ввести;

б) поставить рукоятку переключателя в положение *РУЧНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ*;

в) с помощью шунтового реостата *РВ* и реостата *РР* установить рабочее напряжение.

5. Контроль за работой агрегата питания. В процессе эксплуатации агрегата питания (время работы агрегата устанавливается руководителем занятия) необходимо контролировать как работу двигателя, так и электрическую часть агрегата.

По двигателю.

Наблюдать за показаниями контрольных приборов (термометров воды и масла, манометра, тахометра, амперметров) (рис. 157). Температура воды должна быть 70—80° С, максимально допустимая 95° С. Если температура воды снизится и будет ниже 70° С, то произойдет переохлаждение двигателя и он не будет развивать нужной мощности. Доложить дизелисту о случившемся для устранения возникшей неисправности в системе охлаждения.

При повышении температуры воды и масла (нормальная температура масла 85—90° С) необходимо полностью открыть дверцы перед радиатором. Если же и при этом условии температура масла возрастает, то необходимо произвести остановку двигателя и устранить неисправность, возникшую в системе смазки (неисправность устраняется дизелистом). Давление масла должно быть при нормальной работе двигателя 1,5—3,5 кг/см². Если давление масла будет выше или ниже нормы, то о случившемся доложить дизелисту.

По электрической части.

Следить за показаниями контрольных приборов (амперметров, вольтметра, частотомера).

Не допускать перегрузки синхронного генератора свыше 10% от номинала длительностью не более 1 ч (контролируется амперметрами фаз).

Периодически наблюдать за щетками коллектора и

контактных колец. При нормальной работе синхронного генератора искрение под щетками не оставляет следов подгорания на поверхности коллектора или поверхности контактных колец.

Проверять температуру нагрева подшипников генератора. Проверку осуществлять рукой по температуре крышек подшипников.

При обнаружении неисправностей немедленно сообщать дизелисту.

6. Остановить агрегат питания. Для остановки агрегата питания необходимо:

а) с помощью рычага автомата выключить внешнюю цепь (поставить рычаг автомата ВА в положение ОТКЛ.);

б) поставить переключатель регулировки напряжения в положение РУЧНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ и ввести полностью сопротивление шунтового реостата *PВ*, для чего переместить его движок в крайнее левое положение НИЖЕ;

в) дать проработать двигателю в течение 5—8 мин без нагрузки, т. е. на холостом ходу;

г) постепенно снижая обороты двигателя, выключить топливные насосы, для чего рычаг выключения двигателя повернуть на 180°;

д) закрыть кран топливного бака.

После остановки двигателя обтереть сухими концами двигатель и генератор. Сдать материальную часть дизелисту.

По окончании практической работы быть готовым ответить руководителю занятия на следующие вопросы:

— размещение измерительных приборов, агрегатов и аппаратуры агрегата питания;

— токопрохождение по схеме электрической части (рис. 158);

— токопрохождение по схеме электрооборудования дизеля (рис. 159);

— порядок подготовки агрегата питания к пуску;

— пуск агрегата питания;

— контроль за работой агрегата питания;

— порядок остановки агрегата питания.

к работе 33

№ по пор.	Время приема на заряд
	От кого принят аккумулятор, его номер
	Напряжение при приеме на заряд
	Состояние, в котором сдается аккумулятор
	Расписка слатчика
	Время постановки на заряд
	Произведенный ремонт
	Зарядный ток, <i>a</i>
	Время окончания заряда
	Напряжение после окончания заряда, <i>e</i>
	Время сдачи заряженного аккумулятора
	Расписка в приеме батареи

СТАНЦИЯ № —

Список имущества	Количество
Бензоэлектрический агрегат	1
ЗРУ	1
Комплект инструмента	1
Пробник аккумуляторный	1
Ареометр	1
Резиновая груша	1
Стеклянная трубка	1
Комплект перемычек: коротких, длинных	
Кружки емкостью на 1 и 0,5 л	2
Аккумуляторные батареи (тип)	—
Тяги для перевозки бензоэлектрического агрегата . .	2
Саперные лопаты	1
Топор	1
Папка с документами	1

УКАЗАТЕЛЬ ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Л. М. Пиотровский и Е. А. Паль. Испытание электрических машин, часть 1, Госэнергоиздат, 1949 г.

А. С. Мощевитин. Электротехника, Воениздат, 1956 г.

Д. Г. Максимов. Курс электротехники, Воениздат, 1958 г.

Л. Н. Грузов, К. П. Нефедов. Электропитание военных установок связи, выпуск 1, Военная академия связи, 1956 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Общие указания	4
Основные правила техники безопасности	7

Часть I

Практические работы по электротехнике

№ 1. Сборка простейшей электрической цепи	9
№ 2. Исследование зависимости напряжения на зажимах источника электрической энергии от нагрузки	13
№ 3. Исследование электрической цепи последовательного соединения потребителей	15
№ 4. Исследование электрической цепи параллельного соединения потребителей	19
№ 5. Исследование электрической цепи со смешанным соединением потребителей	23
№ 6. Исследование свойств потенциометра	27
№ 7. Исследование цепи постоянного тока с двумя ЭДС	33
№ 8. Исследование цепи постоянного тока с построением потенциальных диаграмм	39
№ 9. Проверка и регулировка нейтральных электромагнитных реле постоянного тока	47
№ 10. Исследование магнитных свойств железа	52
№ 11. Исследование цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью	58
№ 12. Исследование цепи переменного тока с активным сопротивлением и емкостью	65
№ 13. Исследование цепи переменного тока с последовательно включенными активным сопротивлением, емкостью и индуктивностью	71
№ 14. Резонанс напряжений	78
№ 15. Резонанс токов	86
№ 16. Исследование трехфазной системы при соединении потребителей электрической энергии в схему «звезда» и в схему «треугольник»	92
№ 17. Исследование свойств однофазного трансформатора	102
№ 18. Подбор шунта к амперметру и добавочного сопротивления к вольтметру	111
	247

	Стр.
№ 19. Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра и больших сопротивлений одним вольтметром . . .	118
№ 20. Измерение сопротивлений омметром и мостом	125
№ 21. Проверка градуировки амперметров и вольтметров . . .	129
№ 22. Измерение комбинированным электроизмерительным прибором Ц-20	134
№ 23. Измерение сопротивления заземлений с помощью моста переменного тока	140

Часть II

Практические работы по электропитанию

№ 24. Исследование генератора с параллельным возбуждением	145
№ 25. Исследование генератора со смешанным возбуждением	152
№ 26. Исследование двигателя с параллельным возбуждением	158
№ 27. Исследование радиоумформера типа РУ-11Б	167
№ 28. Исследование асинхронного электродвигателя трехфазного тока	172
№ 29. Исследование вибропреобразователя	179
№ 30. Проверка и монтаж купроксных или селеновых вентилей в выпрямительных устройствах	184
№ 31. Исследование двухполупериодной мостиковой схемы, собранной на плоскостных диодах ДГ-Ц	194
№ 32. Соединение гальванических элементов в батарею . . .	202
№ 33. Подготовка щелочных аккумуляторов к зарядке	209
№ 34. Ремонт щелочных аккумуляторов	215
№ 35. Двигатель внутреннего сгорания Л-3/2	218
№ 36. Полевая зарядная станция	223
№ 37. Испытание однофазного синхронного генератора с самовозбуждением бензоэлектрического агрегата АБ-2-0/230 . . .	227
№ 38. Эксплуатация дизельной электростанции АД-20	236
Приложение 1 (к работе 33)	245
Приложение 2 (к работе 36)	246
Указатель литературы	—

Волков П. П., Штейнфельд М. Б., Пестов С. А.
Лабораторные работы по электротехнике и электропитанию
 М., Воениздат, 1962. 248 с.

Редактор **Колесов С. В.**

Технический редактор **Коновалова Е. К.**

Корректор **Померанцева Т. П.**

Сдано в набор 14.8.61.

Г-82117

Подписано к печати 9.3.62.

Формат бумаги $84 \times 108^{1/32}$ — $7^{3/4}$ печ. л. = 12,71 усл. печ. л. 12,235 уч.-изд. л.

Тираж 10.500

Изд. № 6/2644

Цена 53 коп.

Зак. 2329

2-я типография Военного издательства Министерства обороны Союза ССР
 Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., 10

Цена 53 коп.